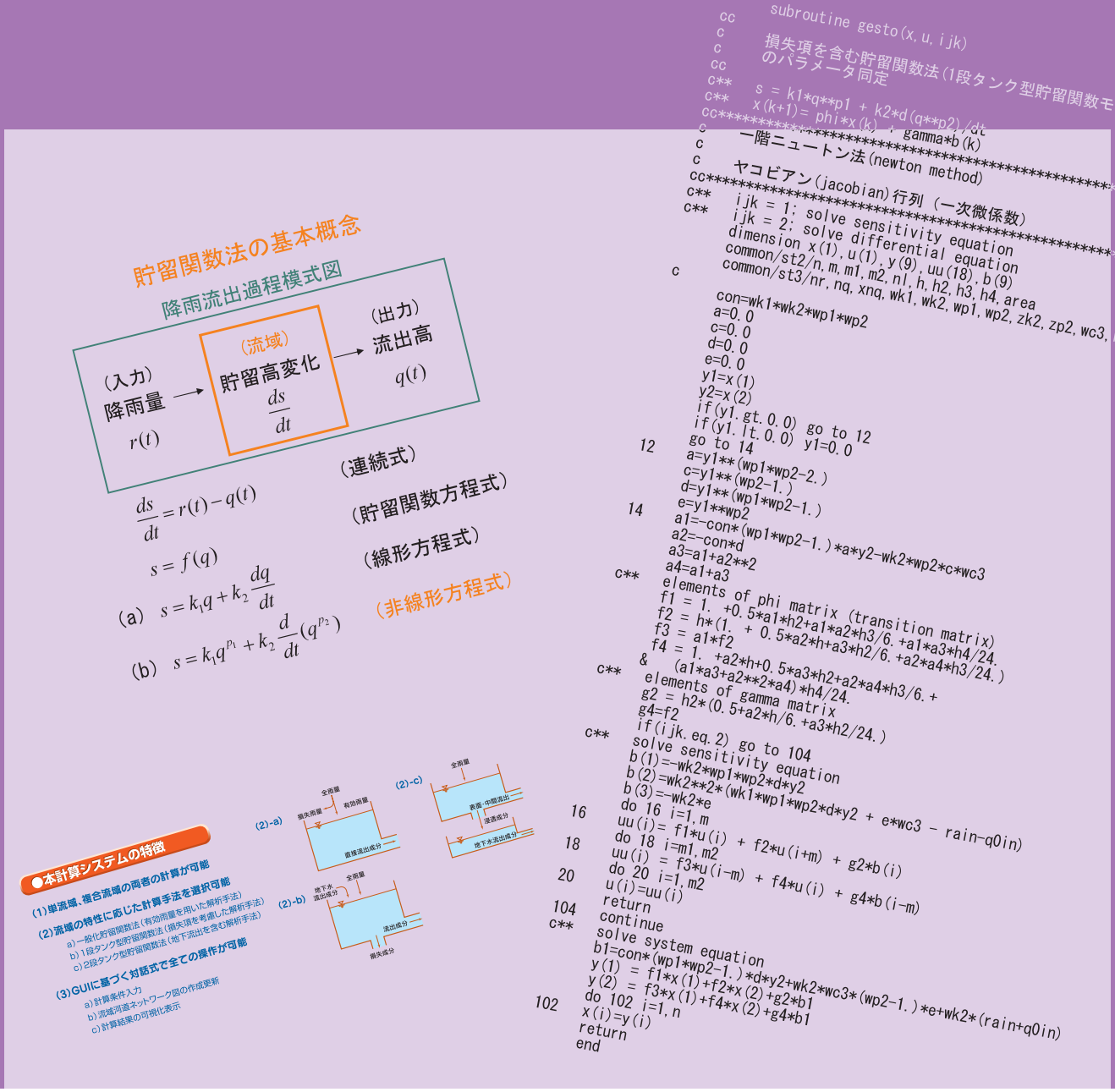
創立20周年記念出版

実践流出解析ゼミ

Q & A 編




```
      subroutine gesto(x,u,ijk)
c
c     損失項を含む貯留関数法(1段タンク型貯留関数モデル)
c     のパラメータ同定
cc
c**   s = k1*q**p1 + k2*d(q**p2)/dt
c**   x(k+1)= phi*x(k) + gamma*b(k)
cc*****************************************************
c     一階ニュートン法(newton method)
c     ヤコビアン(jacobian)行列 (一次微係数)
cc*****************************************************
c**   ijk = 1; solve sensitivity equation
c**   ijk = 2; solve differential equation
      dimension x(1),u(1),y(9),uu(18),b(9)
      common/st2/n,m,m1,m2,nl,h,h2,h3,h4,area
      common/st3/nr,nq,xnq,wk1,wk2,wp1,wp2,zk2,zp2,wc3,rain,q0in
c
      con=wk1*wk2*wp1*wp2
      a=0.0
      c=0.0
      d=0.0
      e=0.0
      y1=x(1)
      y2=x(2)
      if(y1.gt.0.0) go to 12
      if(y1.lt.0.0) y1=0.0
   12 go to 14
      a=y1**(wp1*wp2-2.)
      c=y1**(wp2-1.)
      d=y1**(wp1*wp2-1.)
   14 e=y1**wp2
      a1=-con*(wp1*wp2-1.)*a*y2-wk2*wp2*c*wc3
      a2=-con*d
      a3=a1+a2**2
      a4=a1+a3
c**   elements of phi matrix (transition matrix)
      f1 = 1. +0.5*a1*h2+a1*a2*h3/6.+a1*a3*h4/24.
      f2 = h*(1. + 0.5*a2*h+a3*h2/6.+a2*a4*h3/24.)
      f3 = a1*f2
      f4 = 1. +a2*h+0.5*a3*h2+a2*a4*h3/6.+
     &    (a1*a3+a2**2*a4)*h4/24.
c**   elements of gamma matrix
      g2 = h2*(0.5+a2*h/6.+a3*h2/24.)
      g4=f2
      if(ijk.eq.2) go to 104
c**   solve sensitivity equation
      b(1)=-wk2*wp1*wp2*d*y2
      b(2)=wk2**2*(wk1*wp1*wp2*d*y2 + e*wc3 - rain-q0in)
      b(3)=-wk2*e
      do 16 i=1,m
   16 uu(i)= f1*u(i) + f2*u(i+m) + g2*b(i)
      do 18 i=m1,m2
   18 uu(i) = f3*u(i-m) + f4*u(i) + g4*b(i-m)
      do 20 i=1,m2
   20 u(i)=uu(i)
      return
  104 continue
c**   solve system equation
      b1=con*(wp1*wp2-1.)*d*y2+wk2*wc3*(wp2-1.)*e+wk2*(rain+q0in)
      y(1) = f1*x(1)+f2*x(2)+g2*b1
      y(2) = f3*x(1)+f4*x(2)+g4*b1
      do 102 i=1,n
  102 x(i)=y(i)
      return
      end
```

平成18年7月

HR-DPRC Foundation

(財)北海道河川防災研究センター・研究所

実践流出解析ゼミ［Q＆A編］
目　　次

第 1 回　三角化法による連立方程式の解法 ---------- 1

第 2 回　非線形方程式の数値解析法 ---------- 10

第 4 回　貯留関数法による流出計算とその数値解法 ---------- 15

第 6 回　一価線形・非線形貯留関数法の最適化 ---------- 22

第 7 回　二価の線形・非線形貯留関数法の最適化 ---------- 25

第 8 回　流域における Kinematic wave 法と一般化貯留関数法の関係 ---------- 32

第 9 回　損失項を含む貯留関数法(1 段タンク型貯留関数モデル) ---------- 36

第 10 回　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型貯留関数モデル ---------- 40

第 11 回　全流出量の感度係数を用いた
2 段タンク型貯留関数モデルの最適化 ---------- 60

第 12 回　1 段・2 段タンク型非線形貯留関数モデルの総合化 ---------- 72

第 13 回　河道における Kinematic wave 法と貯留関数法の関係 ---------- 79

第 14 回　複合流域における貯留関数法の最適化 ---------- 95

第 15 回　目的関数の差異による洪水流量推定精度に及ぼす影響 ---------- 111

第 16 回　短時間予測雨量の誤差分散算定法 ---------- 115

第 17 回　単一流域におけるカルマン・フィルター理論
を用いた実時間流出予測 ---------- 116

第 18 回　複合流域におけるカルマン・フィルター理論
を用いた実時間流出予測 ---------- 126

別　冊

実践流出解析ゼミ［講義テキスト編］

実践流出解析ゼミ［プログラム編］

第１回　流出解析ゼミ

― 三角化法による連立方程式の解法 ―

[問題 1]

行列 A とベクトル B を用いて以下の設問に答えよ。

$$A=\begin{bmatrix}1 & 1 & 0 & 3\\ 2 & 1 & -1 & 1\\ 3 & -1 & -1 & 2\\ -1 & 2 & 3 & -1\end{bmatrix},\quad B=\begin{bmatrix}4\\ 1\\ -3\\ 4\end{bmatrix}$$

(1)　行列 A をクラウト法により LU 分解せよ。

(2)　$M=L^{-1}$ と $N=U^{-1}$ を求めて、$LM=I$ と $NU=I$（I :単位行列）になることを検証せよ。

(3)　行列 A の逆行列を次式で求めよ。

$$A^{-1}=[LU]^{-1}=U^{-1}L^{-1}$$

(4)　$AX=B$ からベクトル X を次の手順で求めよ。

$$[LU]X=B$$

(a)　$LY=B$ の関係式からベクトル Y を次式で求めよ。

$$Y=L^{-1}B$$

(b)　$UX=Y$ の関係式からベクトル X を次式で求めよ。

$$X=U^{-1}Y$$

(5)　一般的な方法（例えば、クラウト法）を用いて、A の逆行列 A^{-1} を求めよ。
この逆行列 A^{-1} を用いて、$X=A^{-1}B$ によりベクトル X を求める。

(6)　設問(3)と(5)で求めた逆行列 A^{-1} が同一であるかを検証せよ。

[問題 2]

対称行列 A とベクトル B が以下のように与えられる。

$$A=\begin{bmatrix}9 & -6 & 6 & 0 & 0\\ -6 & 5 & 0 & 1 & 0\\ 6 & 0 & 29 & 4 & -9\\ 0 & 1 & 4 & 5 & -2\\ 0 & 0 & -9 & -2 & 26\end{bmatrix},\quad B=\begin{bmatrix}7\\ 5\\ 4\\ 6\\ 8\end{bmatrix}$$

(1)　三角化法により、行列 A を下三角行列 Λ とその転置行列である上三角行列 Λ^T に分解せよ。
すなわち、$A=\Lambda\Lambda^T$ となるような Λ を求めよ。

(2)　設問(1)で求めた行列 Λ を用いて、$\Lambda\Lambda^T=A$ となるか検証せよ。

(3)　Λ の逆行列である Λ^{-1} と転置行列である Λ^T の逆行列 $(\Lambda^T)^{-1}$ を求めよ。

(4)　行列 A の逆行列を求めよ。

$$A^{-1}=(\Lambda\Lambda^T)^{-1}=(\Lambda^{-1})^T(\Lambda^{-1})$$

(5)　$AX = B$ からベクトル X を次の手順で求めよ。

$$(\Lambda\Lambda^T)X = B$$

(a)　$\Lambda Y = B$ の関係式から、ベクトル Y を次式で求めよ。

$$Y = \Lambda^{-1}B$$

(b)　$\Lambda^T X = Y$ の関係式から、ベクトル X を次式で求めよ。

$$X = (\Lambda^T)^{-1}Y$$

(6)　設問(5)で求めた X を用いて $AX = B$ となっていることを確かめよ。

(7)　一般的方法(例えば、クラウト法)を用いて A の逆行列 A^{-1} を求め、
$AA^{-1} = I$ (I :単位行列)を検証せよ。

(8)　$X = A^{-1}B$ よりベクトル X の解を求めよ。

(9)　設問(4)と(7)で求めた逆行列 A^{-1} が同一であるか検証せよ。

[問題 3]

[問題 2]の対称行列 A とベクトル B を用いて以下の設問に答えよ。

$$A = \begin{bmatrix} 9 & -6 & 6 & 0 & 0 \\ -6 & 5 & 0 & 1 & 0 \\ 6 & 0 & 29 & 4 & -9 \\ 0 & 1 & 4 & 5 & -2 \\ 0 & 0 & -9 & -2 & 26 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 7 \\ 5 \\ 4 \\ 6 \\ 8 \end{bmatrix}$$

(1)　対称行列 A を $A = LDL^T$ 分解せよ。

(2)　$\Lambda = LD^{1/2}$ と $\Lambda^T = D^{1/2}L$ を求めて、[問題 2]の行列 Λ に等しい事を検証せよ。

(3)　$AX = B$ の連立方程式を式(1.33)の Y'、式(1.34)の Y および式(1.35)の X の順に求めよ。

(4)　$AX = B$ となっているかを検証せよ。

［解答 1］

A 行列を下記に示す。

$$A=\begin{bmatrix} 1.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 3.0000 \\ 2.0000 & 1.0000 & -1.0000 & 1.0000 \\ 3.0000 & -1.0000 & -1.0000 & 2.0000 \\ -1.0000 & 2.0000 & 3.0000 & -1.0000 \end{bmatrix}$$

(1)　A 行列をクラウト法により LU する。

A 行列の LU 分解後の L 行列

$$L=\begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 2.0000 & -1.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 3.0000 & -4.0000 & 3.0000 & 0.0000 \\ -1.0000 & 2.0000 & 0.0000 & -13.0000 \end{bmatrix}$$

A 行列の LU 分解後の U 行列

$$U=\begin{bmatrix} 1.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 3.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 5.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 4.3333 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

L 行列と U 行列の積 S 行列　(検証)

$$S=\begin{bmatrix} 1.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 3.0000 \\ 2.0000 & 1.0000 & -1.0000 & 1.0000 \\ 3.0000 & -1.0000 & -1.0000 & 2.0000 \\ -1.0000 & 2.0000 & 3.0000 & -1.0000 \end{bmatrix}$$

(2)　$M=L^{-1}$ と $N=U^{-1}$ を求めて、$LM=I$ と $NU=I$ になる事を検証する。

L 行列の逆行列 M 行列

$$M=\begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 2.0000 & -1.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 1.6667 & -1.3333 & 0.3333 & 0.0000 \\ 0.3846 & -0.2308 & 0.0000 & -0.0769 \end{bmatrix}$$

L 行列と逆行列 M 行列の積 I 行列　(検証)

$$I=\begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

U 行列の逆行列 N 行列

$$N=\begin{bmatrix}1.0000 & -1.0000 & 1.0000 & -2.3333\\ 0.0000 & 1.0000 & -1.0000 & -0.6667\\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & -4.3333\\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 1.0000\end{bmatrix}$$

U 行列と逆行列 N 行列の積 I 行列　（検証）

$$I=\begin{bmatrix}1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000\\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000\\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 0.0000\\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 1.0000\end{bmatrix}$$

(3)　A 行列の逆行列を $A^{-1}=[LU]^{-1}=U^{-1}L^{-1}$ で求める。

$$A^{-1}=\begin{bmatrix}-0.2308 & 0.2051 & 0.3333 & 0.1795\\ 0.0769 & 0.4872 & -0.3333 & 0.0513\\ 0.0000 & -0.3333 & 0.3333 & 0.3333\\ 0.3846 & -0.2308 & 0.0000 & -0.0769\end{bmatrix}$$

(4)　$AX=B$ からベクトル X を $[LU]X=B$ で求める。

(a)　$LY=B$ の関係式からベクトル Y を求める。

$$Y=\begin{bmatrix}4.0000\\ 7.0000\\ 4.3333\\ 1.0000\end{bmatrix}$$

(b)　$UX=Y$ の関係式からベクトル X を求める。

$$X=\begin{bmatrix}-1.0000\\ 2.0000\\ 0.0000\\ 1.0000\end{bmatrix}$$

(5)　クラウト法で逆行列を求めるサブルーチンを用いて逆行列 A^{-1} 行列を求めた結果

$$A^{-1}=\begin{bmatrix}-0.2308 & 0.2051 & 0.3333 & 0.1795\\ 0.0769 & 0.4872 & -0.3333 & 0.0513\\ 0.0000 & -0.3333 & 0.3333 & 0.3333\\ 0.3846 & -0.2308 & 0.0000 & -0.0769\end{bmatrix}$$

(6)　設問(3)と(5)で求めた逆行列 A^{-1} の解を比較すると同一であることがわかる。

文責　伊賀　久晃

［解答 2］

A 行列を下記に示す。

$$A=\begin{bmatrix} 9.0000 & -6.0000 & 6.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ -6.0000 & 5.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 6.0000 & 0.0000 & 29.0000 & 4.0000 & -9.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 4.0000 & 5.0000 & -2.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & -9.0000 & -2.0000 & 26.0000 \end{bmatrix}$$

(1)　三角化法により、A 行列を下三角行列 Λ とその転置行列である上三角行列 Λ^T に分離する。

A 行列の分解後の Λ 行列

$$\Lambda=\begin{bmatrix} 3.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ -2.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 2.0000 & 4.0000 & 3.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 2.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & -3.0000 & -1.0000 & 4.0000 \end{bmatrix}$$

A 行列の分解後の Λ^T 行列

$$\Lambda^T=\begin{bmatrix} 3.0000 & -2.0000 & 2.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 4.0000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 3.0000 & 0.0000 & -3.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 2.0000 & -1.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 4.0000 \end{bmatrix}$$

(2)　(1)で求めた Λ 行列を用いて、$\Lambda\Lambda^T = A$ となるか検証する。

Λ 行列と Λ^T 行列の積 S 行列

$$A=\begin{bmatrix} 9.0000 & -6.0000 & 6.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ -6.0000 & 5.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 6.0000 & 0.0000 & 29.0000 & 4.0000 & -9.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 4.0000 & 5.0000 & -2.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & -9.0000 & -2.0000 & 26.0000 \end{bmatrix}$$

(3)　Λ 行列の逆行列 Λ^{-1} 行列と転置行列 Λ^T 行列の逆行列 $(\Lambda^T)^{-1}$ を求める。

$$(\Lambda^T)^{-1}=\begin{bmatrix} 0.3333 & 0.6667 & -1.1111 & -0.3333 & -0.9167 \\ 0.0000 & 1.0000 & -1.3333 & -0.5000 & -1.1250 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.3333 & 0.0000 & 0.2500 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.5000 & 0.1250 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.2500 \end{bmatrix}$$

(4)　　A 行列の逆行列 A^{-1} 行列を求める。 $A^{-1} = (\Lambda\Lambda^T)^{-1} = (\Lambda^{-1})^T(\Lambda^{-1})$

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} 2.7415 & 3.3461 & -0.5995 & -0.2812 & -0.2292 \\ 3.3461 & 4.2934 & -0.7257 & -0.3906 & -0.2812 \\ -0.5995 & -0.7257 & 0.1736 & 0.0312 & 0.0625 \\ -0.2812 & -0.3906 & 0.0312 & 0.2656 & 0.0312 \\ -0.2292 & -0.2812 & 0.0625 & 0.0312 & 0.0625 \end{bmatrix}$$

(5)　$AX = B$ からベクトル X を $[\Lambda\Lambda^T]X = B$ で求める。

(a)　　$\Lambda Y = B$ の関係式からベクトル Y を求める。

$$Y = \begin{bmatrix} 2.3333 \\ 9.6667 \\ -13.1111 \\ -1.8333 \\ -8.2917 \end{bmatrix}$$

(b)　　$\Lambda^T X = Y$ の関係式からベクトル X を求める。

$$X = \begin{bmatrix} 30.0019 \\ 37.3929 \\ -6.4433 \\ -1.9531 \\ -2.0729 \end{bmatrix}$$

(6)　(5)で求めた X を用いて $AX = B$ となっているか検証する。

$$B = \begin{bmatrix} 7.0000 \\ 5.0000 \\ 4.0000 \\ 6.0000 \\ 8.0000 \end{bmatrix}$$

(7)　クラウト法による逆行列を求めるサブルーチンを用いて逆行列 A^{-1} 行列を求めた結果

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} 2.7415 & 3.3461 & -0.5995 & -0.2813 & -0.2292 \\ 3.3461 & 4.2934 & -0.7257 & -0.3906 & -0.2813 \\ -0.5995 & -0.7257 & 0.1736 & 0.0313 & 0.0625 \\ -0.2813 & -0.3906 & 0.0313 & 0.2656 & 0.0313 \\ -0.2292 & -0.2813 & 0.0625 & 0.0313 & 0.0625 \end{bmatrix}$$

(8)　$X = A^{-1}B$ より X ベクトルを求める。

$$X = \begin{bmatrix} 30.0019 \\ 37.3929 \\ -6.4433 \\ -1.9531 \\ -2.0729 \end{bmatrix}$$

(9)　(4)と(7)で求めた逆行列 A^{-1} の解を比較すると同一であることがわかる。

文責　伊賀　久晃

［解答 3］

A 行列

$$A = \begin{bmatrix} 9.0000 & -6.0000 & 6.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ -6.0000 & 5.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 6.0000 & 0.0000 & 29.0000 & 4.0000 & -9.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 4.0000 & 5.0000 & -2.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & -9.0000 & -2.0000 & 26.0000 \end{bmatrix}$$

(1)　対称行列 A を $A = LDL^T$ 分解する。

A 行列の LDL^T 分解後の L 行列

$$L = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ -0.6667 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.6667 & 4.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & -1.0000 & -0.5000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

A 行列の LDL^T 分解後の D 行列

$$D = \begin{bmatrix} 9.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 9.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 4.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 16.0000 \end{bmatrix}$$

A 行列の LDL^T 分解後の L^T 行列

$$L^T = \begin{bmatrix} 1.0000 & -0.6667 & 0.6667 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 4.0000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 & -1.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 & -0.5000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

(2)　行列 $\Lambda = LD^{1/2}$ と行列 $\Lambda^T = D^{1/2}L^T$ を求めて、[**問題 2**]の行列 Λ に等しい事を検証する。

LDL^T 分解後の $LD^{1/2}$ 行列

$$\Lambda = LD^{1/2} = \begin{bmatrix} 3.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ -2.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 2.0000 & 4.0000 & 3.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 & 2.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & -3.0000 & -1.0000 & 4.0000 \end{bmatrix}$$

LDL^T 分解後の $D^{1/2}L^T$ 行列

$$\Lambda^T = D^{1/2}L^T = \begin{bmatrix} 3.0000 & -2.0000 & 2.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 4.0000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 3.0000 & 0.0000 & -3.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 2.0000 & -1.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 4.0000 \end{bmatrix}$$

(3)　$AX = B$ の連立方程式を式(1.33)の Y'、式(1.34)の Y および式(1.35)の X 順に求めよ。

式(1.33)の Y'

$$Y' = \begin{bmatrix} 7.0000 \\ 9.6667 \\ -39.3333 \\ -3.6667 \\ -33.1667 \end{bmatrix}$$

式(1.34)の Y

$$Y = \begin{bmatrix} 0.7778 \\ 9.6667 \\ -4.3704 \\ -0.9167 \\ -2.0729 \end{bmatrix}$$

式(1.35)の X

$$X = \begin{bmatrix} 30.0020 \\ 37.3930 \\ -6.4433 \\ -1.9531 \\ -2.0729 \end{bmatrix}$$

(4)　$AX = B$ となっているか検証せよ。

$$B = \begin{bmatrix} 7.0000 \\ 5.0000 \\ 4.0000 \\ 6.0000 \\ 8.0000 \end{bmatrix}$$

文責　伊賀　久晃
仙庭　真司

第 2 回　流出解析ゼミ

— 非線形方程式の数値解析法 —

[問題 1]

下記の式をニュートン法とベイリー法で解け。

$$f(x) = x^3 + 3x^2 - 5 = 0$$

このとき、

(a)　一次微係数のみを使う場合

(b)　一次微係数と二次微係数を使う場合

の二通りで収束度を比較せよ。ただし、初期値 $x_0 = 1.0$ とし、収束条件は $\left|f\left(x_k\right)\right| \le 10^{-4}$ とする。

[問題 2]

下記の連立方程式をニュートン法で解け。

$$f\left(x, y\right) = x^2 + y^2 - 4 = 0$$

$$g\left(x, y\right) = \frac{x^2}{9} + y^2 - 1 = 0$$

ただし、初期値 $x_0 = 1.0$ 、 $y_0 = 1.0$ とする。

収束条件は、

$$\left|f\left(x_k, y_k\right)\right| \le 10^{-4} \qquad \text{かつ、} \qquad \left|g\left(x_k, y_k\right)\right| \le 10^{-4}$$

とする。

※ 補足　**[問題 2]**の連立方程式の解は解析的に求めることが出来る。

$X = x^2$ ， $Y = y^2$ と置換えると以下の式に変換される。

$$\begin{cases} X + Y = 4 \\ X + 9Y = 9 \end{cases}$$

したがって、 $X = \frac{27}{8}$ 、 $Y = \frac{5}{8}$ が容易に求められる。

よって、 x 、 y の値は次式で計算される。

$$x = (X)^{1/2} = 1.8371$$

$$y = (Y)^{1/2} = 0.7906$$

[問題 3]

連立非線形方程式を次式で与える。次の設問に答えよ。

$$f(x,y)=16x^2+5xy+50y^2-74=0$$
$$g(x,y)=4x^2+25xy^2+10y-41=0$$

(1)　Newton(ニュートン)法によって、上式の根を求めよ。

初期値は、(a) $x_0=1.0$, $y_0=1.0$

(b) $x_0=2.0$, $y_0=1.0$　　とする。

(2)　Bailey(ベイリー)法によって、上式の根を求めよ。

初期値は、(a) $x_0=1.0$, $y_0=1.0$

(b) $x_0=2.0$, $y_0=1.0$　　とする。

(3)　二次微係数を用いた近似解法において、ニュートン法を併用せよ。なお、初期値を(1)と(2)で設定した値として、収束の速さを比較せよ。

繰り返し計算の収束は $\left|f\left(x,y\right)\right|\le 10^{-4}$ 及び $\left|g\left(x,y\right)\right|\le 10^{-4}$ にて判定せよ。

[問題 4]

図に示される広矩形断面における断面②，③，④における水深h_2，h_3，h_4を求めよ。なお、それぞれの河道区間での水路幅(B)、水路勾配(i)および河道距離(ℓ)は図中に示されている。また、流速補正係数は$\alpha=1.0$とする。

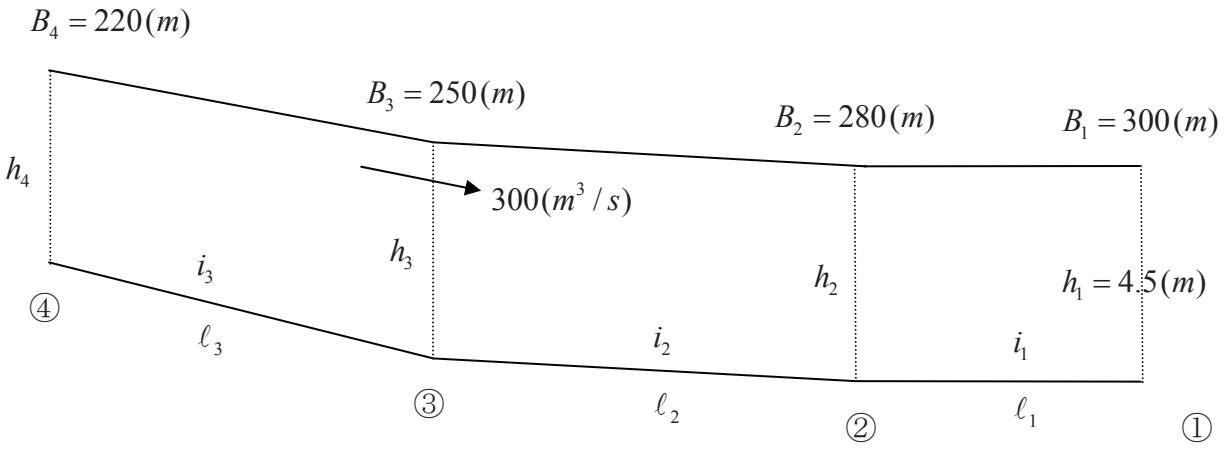
条件：　$Q=300(m^3/s)$, $n=0.025$, $h_1=4.5(m)$

$i_1=1/2000$, $i_2=1/1500$, $i_3=1/700$

$\ell_1=1200(m)$, $\ell_2=950(m)$, $\ell_3=1350(m)$

(a) 1 階ニュートン法（1 次微係数利用）を用いた方法で計算せよ。

(b) 2 階ニュートン法（2 次微係数利用）を用いた方法で計算せよ。



[解答 1]

(a)　一次微係数のみを使う場合　(4 回で収束)

x	dx	$f'(x)$	$f(x)$
1.00000	0.11111	9.00000	–1.00000
1.11111	–0.00728	10.37037	0.07545
1.10384	–0.00003	10.27838	0.00033
1.10380	0.00000	10.27787	0.00000

(b)　一次微係数と二次微係数を使う場合　(3 回で収束)

x	dx	$f'(x)$	$f''(x)$	$f(x)$
1.00000	0.10931	9.00000	12.00000	–1.00000
1.10391	–0.00011	10.27934	12.62348	0.00112
1.10380	0.00000	10.27797	12.62282	0.00000

(a)と(b)の解を比較すると、(b)の二次微係数を用いた方が収束回数は少ない。

文責　伊賀　久晃

[解答 2]

x	y	dx	dy	$f(x,y)$	$g(x,y)$
1.00000	1.00000	1.18750	–0.18750	–2.00000	0.11111
2.18750	0.81250	–0.32232	–0.02163	1.44531	0.19184
1.86518	0.79087	–0.02785	–0.00030	0.10436	0.01201
1.83733	0.79057	–0.00021	0.00000	0.00078	0.00009
1.83712	0.79057	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

5 回で収束する。

文責　伊賀　久晃

[解答 3]

(1)　Newton(ニュートン)法で解く

(a)　初期値 $x_0 = 1.0,\quad y_0 = 1.0$ の場合

x	y	dx	dy	$f(x,y)$	$g(x,y)$
1.00000	1.00000	0.02410	0.02008	–3.00000	–2.00000
1.02410	1.02008	–0.00150	0.00023	0.03187	0.03684
1.02260	1.02031	0.00000	0.00000	0.00003	–0.00001

3 回で収束する。

(b)　初期値 $x_0 = 2.0,\quad y_0 = 1.0$ の場合

x	y	dx	dy	$f(x,y)$	$g(x,y)$
2.00000	1.00000	–0.53571	–0.11851	50.00000	35.00000
1.46429	0.88149	0.05124	–0.08629	5.61145	4.83634
1.51553	0.79520	–0.01519	0.00465	0.39222	0.09774
1.50034	0.79985	–0.00034	0.00015	0.00442	–0.00107
1.50000	0.80000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

5 回で収束する。

(2)　Bailey（ベイリー）法で解く

(a)　初期値 $x_0 = 1.0,\quad y_0 = 1.0$ の場合

x	y	dx	dy	$f(x,y)$	$g(x,y)$
1.00000	1.00000	0.02112	0.02053	–3.00000	–2.00000
1.02112	1.02053	0.00147	–0.00022	–0.03202	–0.03671
1.02259	1.02031	0.00000	0.00000	0.00003	–0.00002

3 回で収束する。

(b)　初期値 $x_0 = 2.0,\quad y_0 = 1.0$ の場合

x	y	dx	dy	$f(x,y)$	$g(x,y)$
2.00000	1.00000	–0.41397	–0.31249	50.00000	35.00000
1.58603	0.68751	–0.04968	0.09301	–4.66696	–5.32143
1.53634	0.78052	–0.03374	0.01829	0.22190	–0.35445
1.50260	0.79882	–0.00259	0.00118	0.03194	–0.01005
1.50001	0.79999	–0.00001	0.00001	0.00016	–0.00005
1.50000	0.80000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

6 回で収束する。

(3) (a)　初期値 $x_0 = 1.0,\quad y_0 = 1.0$ の場合

x	y	dx	dy	$f(x,y)$	$g(x,y)$
1.00000	1.00000	0.02568	0.01983	–3.00000	–2.00000
1.02568	1.01983	–0.00311	0.00049	0.06506	0.07546
1.02258	1.02032	0.00002	–0.00001	0.00032	–0.00006
1.02260	1.02031	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

4 回で収束する。

(b)　初期値 $x_0 = 2.0,\quad y_0 = 1.0$ の場合

x	y	dx	dy	$f(x,y)$	$g(x,y)$
2.00000	1.00000	–0.50645	–0.09009	50.00000	35.00000
1.49355	0.90991	0.02575	–0.10823	9.88321	7.93623
1.51930	0.80168	–0.01900	–0.00172	1.15700	0.66103
1.50030	0.79996	–0.00030	0.00004	0.01222	0.00574
1.50000	0.80000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

5 回で収束する。

文責　仙庭　真司
伊賀　久晃

[解答 4]

＜(a) 1 階ニュートン法＞

②地点

h_2	$f(h_2)$	$f'(h_2)$	Δh_2
4.5000	0.5950	1.0008	-0.5945
3.9055	-0.0003	1.0020	0.0003
3.9058	0.0000	1.0020	0.0000

3 回で収束する。

③地点

h_3	$f(h_3)$	$f'(h_3)$	Δh_3
3.9058	0.6261	1.0014	-0.6252
3.2805	-0.0007	1.0041	0.0007
3.2812	0.0000	1.0041	0.0000

3 回で収束する。

④地点

h_4	$f(h_4)$	$f'(h_4)$	Δh_4
3.2812	1.9040	1.0098	-1.8856
1.3957	-0.1849	1.5469	0.1195
1.5152	-0.0109	1.3774	0.0079
1.5231	0.0000	1.3686	0.0000

4 回で収束する。

＜(b) 2 階ニュートン法＞

②地点

h_2	$f(h_2)$	$f'(h_2)$	$f''(h_2)$	Δh_2
4.5000	0.5950	1.0008	-0.0012	0.0000
3.9057	0.0000	1.0019	-0.0028	-0.5943

2 回で収束する。

③地点

h_3	$f(h_3)$	$f'(h_3)$	$f''(h_3)$	Δh_3
3.9057	0.6261	1.0014	-0.0024	-0.5943
3.2810	-0.0002	1.0041	-0.0071	-0.6247
3.2812	0.0000	1.0041	-0.0071	0.0002

3 回で収束する。

④地点

h_4	$f(h_4)$	$f'(h_4)$	$f''(h_4)$	Δh_4
3.2812	1.9040	1.0098	-0.0151	0.0002
1.4216	-0.1454	1.5034	-1.5966	-1.8596
1.5238	0.0010	1.3679	-1.0930	0.1022
1.5231	0.0000	1.3686	-1.0958	-0.0007

4 回で収束する。

文責　東海林　勉

第 4 回　流出解析ゼミ

― 貯留関数法による流出計算とその数値解法 ―

[問題 1]

一価の線形貯留方程式(漸化式法による流出解析法)により、丸瀬布における平成 13 年 9 月の洪水資料をもとに、有効雨量と $k=15.1955$ の値を用いて計算直接流出高 q を求めよ。なお、$T=1$ とせよ。

[問題 2]

二価の線形貯留方程式(漸化式法による流出解析法)により、丸瀬布における洪水資料の有効雨量を用いて、$k_1=15.1955$ と $k_2=50.3734$、$T=1$ (計算時間間隔)とした場合、$\phi_1 \sim \phi_4$ の値及び γ_2、γ_4 の値を算出し、1 時間毎に計算直接流出高 q を求めよ。

[問題 3]

[問題 2]と同じ資料を用いて、二価の線形貯留方程式(漸化式法による流出解析法)により、$T=1/2$ とした場合の $\phi_1 \sim \phi_4$ の値及び γ_2、γ_4 の値を算出し、1 時間毎の計算直接流出高 q を計算せよ。

[問題 4]

一価の非線形貯留方程式(漸化式法による流出解析法)により、丸瀬布地点の有効雨量と $p_1=0.6$, $k_{11}=22.7602$ を用いて、計算時間間隔 T を $T=1/10$ として、1 時間毎に直接流出高と流出量を計算せよ。

[問題 5]

二価の非線形貯留方程式(漸化式法による流出解析法)により、丸瀬布地点の有効雨量と式(4.96)で与えられるモデル定数を用いて、計算時間間隔 T を $T=1/10$ と $T=1/6$ の 2 通りのケースにつき、1 時間毎の直接流出高を求め、精度を比較せよ。ただし、式(4.96)において $f_c=1.5$ の値を用いよ。

［解答 1］

湧別川丸瀬布観測所の洪水事例では、各定数は次式で計算される。

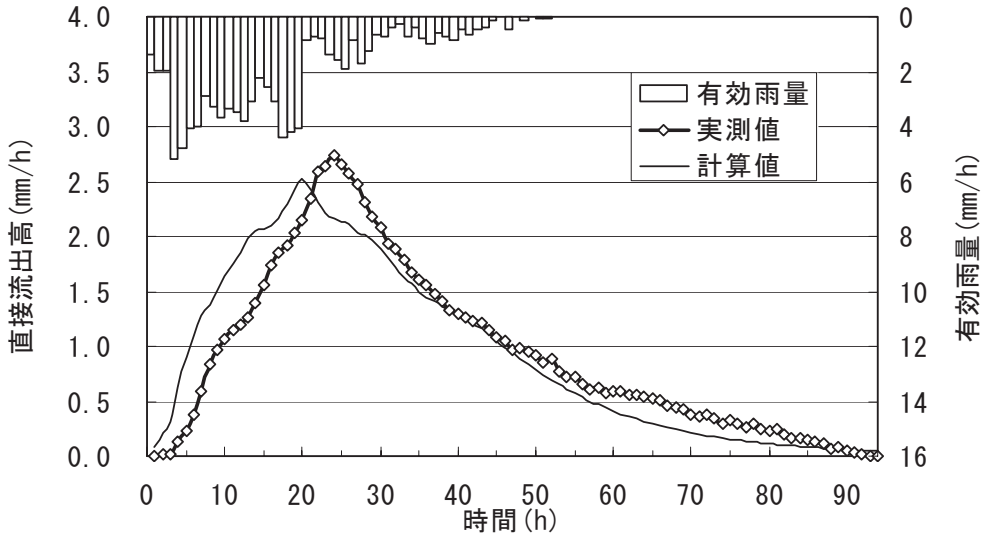
$$k = 15.1955, \quad a = -0.0658, \quad \phi = 0.9363, \quad \gamma = 0.9678$$

この各定数を用いて一価の線形貯留関数法による直接流出高の実測値と計算値の関係を**表－3** と**図－4** に示す。

文責　佐藤　嘉昭
東海林　勉

表－3　一価の線形貯留関数法による直接流出高

時間	有効雨量	直接流出高(q)		時間	有効雨量	直接流出高(q)	
		実測値	計算値			実測値	計算値
t(hr)	r(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	t(hr)	r(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)
1	1.3580	0.0034	0.0865	48	0.0000	0.9854	0.8850
2	1.9537	0.0164	0.2054	49	0.1281	0.9578	0.8368
3	1.9793	0.0235	0.3184	50	0.0000	0.9227	0.7835
4	5.1885	0.1295	0.6286	51	0.0641	0.8580	0.7377
5	4.8106	0.2301	0.8949	52	0.0448	0.8836	0.6936
6	4.0867	0.3852	1.0982	53	0.0000	0.7690	0.6494
7	3.9714	0.5908	1.2812	54	0.0000	0.7291	0.6080
8	2.8825	0.8292	1.3832	55	0.0000	0.7177	0.5693
9	3.2604	0.9603	1.5028	56	0.0000	0.6580	0.5331
10	3.6960	1.0711	1.6424	57	0.0000	0.6131	0.4991
11	3.3181	1.1417	1.7492	58	0.0000	0.6289	0.4673
12	3.4462	1.1912	1.8573	59	0.0000	0.5779	0.4376
13	3.7793	1.2659	1.9797	60	0.0000	0.5867	0.4097
14	3.1131	1.4011	2.0519	61	0.0000	0.5956	0.3836
15	2.1971	1.5520	2.0611	62	0.0000	0.5516	0.3592
16	2.5622	1.7384	2.0930	63	0.0000	0.5603	0.3363
17	3.0875	1.8573	2.1564	64	0.0000	0.5428	0.3149
18	4.4134	1.9209	2.3001	65	0.0000	0.5190	0.2948
19	4.1956	2.0257	2.4208	66	0.0000	0.5082	0.2760
20	4.0932	2.1540	2.5274	67	0.0000	0.4594	0.2585
21	0.8712	2.3507	2.4219	68	0.0000	0.4487	0.2420
22	0.7046	2.5898	2.3125	69	0.0000	0.4196	0.2266
23	0.8135	2.6423	2.2170	70	0.0000	0.3789	0.2122
24	1.3836	2.7457	2.1639	71	0.0000	0.3685	0.1986
25	1.5566	2.6586	2.1253	72	0.0000	0.3761	0.1860
26	1.9217	2.5727	2.1123	73	0.0000	0.3361	0.1741
27	0.8712	2.4766	2.0332	74	0.0000	0.3027	0.1631
28	1.7295	2.3154	2.0139	75	0.0000	0.3214	0.1527
29	1.2491	2.1805	1.9652	76	0.0000	0.2996	0.1429
30	0.6406	2.0805	1.8808	77	0.0000	0.2667	0.1338
31	0.7430	1.9416	1.8084	78	0.0000	0.2967	0.1253
32	0.4164	1.8865	1.7197	79	0.0000	0.2467	0.1173
33	0.2306	1.7925	1.6249	80	0.0000	0.2367	0.1099
34	0.7046	1.6716	1.5662	81	0.0000	0.2379	0.1029
35	0.4164	1.6103	1.4930	82	0.0000	0.1950	0.0963
36	0.7623	1.5499	1.4465	83	0.0000	0.1691	0.0902
37	0.9929	1.4722	1.4176	84	0.0000	0.1700	0.0844
38	0.6085	1.4049	1.3661	85	0.0000	0.1444	0.0791
39	0.7430	1.3301	1.3264	86	0.0000	0.1348	0.0740
40	0.8712	1.2911	1.2974	87	0.0000	0.1097	0.0693
41	0.4356	1.2696	1.2425	88	0.0000	0.0650	0.0649
42	0.6406	1.2312	1.2042	89	0.0000	0.0806	0.0608
43	0.4548	1.2099	1.1564	90	0.0000	0.0563	0.0569
44	0.4164	1.1555	1.1093	91	0.0000	0.0372	0.0533
45	0.1025	1.0778	1.0452	92	0.0000	0.0183	0.0499
46	0.0000	1.0494	0.9786	93	0.0000	0.0044	0.0467
47	0.4548	0.9743	0.9452	94	0.0000	0.0000	0.0437



図－4　一価の線形貯留関数法による流出解析結果

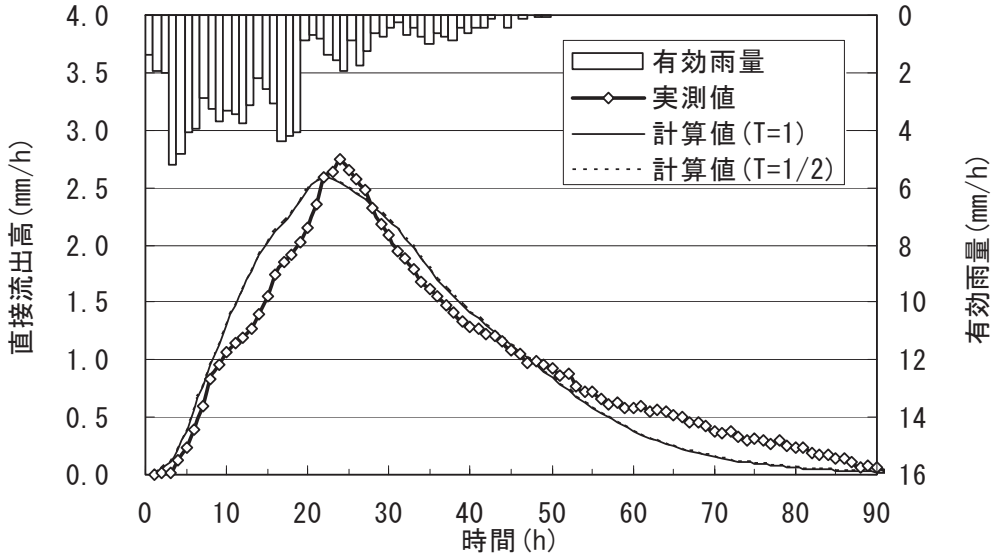
[解答 2, 3]

表－4 に計算時間間隔 $T=1$ と $T=1/2$ のときの係数を示す。そして、その係数を用いて二価の線形貯留関数法による直接流出高の実測値と計算値の関係を**図－5** 及び**表－5** に示す。

文責　三田村　一弘
東海林　勉

表－4　計算時間間隔別の係数結果

計算時間間隔	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	γ_2	γ_4
$T=1$	0.9976	0.4637	-0.0092	0.8578	0.1189	0.4637
$T=1/2$	0.9910	0.8604	-0.0171	0.7315	0.4527	0.8604



図－5　二価の線形貯留関数法による流出解析結果

表－5　二価の線形貯留関数法による直接流出高

時間	有効雨量	直接流出高(q)			時間	有効雨量	直接流出高(q)		
		実測値	計算値(mm/h)				実測値	計算値(mm/h)	
t(h)	r(mm/h)	(mm/h)	T=1	T=1/2	t(h)	r(mm/h)	(mm/h)	T=1	T=1/2
1	1.3580	0.0034	0.0122	0.0122	48	0.0000	0.9854	0.9568	0.9568
2	1.9537	0.0164	0.0496	0.0496	49	0.1281	0.9578	0.8991	0.8991
3	1.9793	0.0235	0.1101	0.1101	50	0.0000	0.9227	0.8422	0.8422
4	5.1885	0.1295	0.2156	0.2156	51	0.0641	0.8580	0.7862	0.7862
5	4.8106	0.2301	0.3754	0.3753	52	0.0448	0.8836	0.7323	0.7323
6	4.0867	0.3852	0.5629	0.5629	53	0.0000	0.7690	0.6803	0.6803
7	3.9714	0.5908	0.7608	0.7608	54	0.0000	0.7291	0.6301	0.6301
8	2.8825	0.8292	0.9524	0.9523	55	0.0000	0.7177	0.5823	0.5823
9	3.2604	0.9603	1.1304	1.1304	56	0.0000	0.6580	0.5369	0.5369
10	3.6960	1.0711	1.3025	1.3025	57	0.0000	0.6131	0.4942	0.4942
11	3.3181	1.1417	1.4673	1.4673	58	0.0000	0.6289	0.4541	0.4541
12	3.4462	1.1912	1.6220	1.6220	59	0.0000	0.5779	0.4167	0.4167
13	3.7793	1.2659	1.7706	1.7706	60	0.0000	0.5867	0.3820	0.3820
14	3.1131	1.4011	1.9089	1.9089	61	0.0000	0.5956	0.3497	0.3497
15	2.1971	1.5520	2.0236	2.0236	62	0.0000	0.5516	0.3198	0.3198
16	2.5622	1.7384	2.1146	2.1146	63	0.0000	0.5603	0.2923	0.2923
17	3.0875	1.8573	2.1944	2.1944	64	0.0000	0.5428	0.2669	0.2669
18	4.4134	1.9209	2.2805	2.2805	65	0.0000	0.5190	0.2436	0.2436
19	4.1956	2.0257	2.3788	2.3788	66	0.0000	0.5082	0.2222	0.2222
20	4.0932	2.1540	2.4816	2.4816	67	0.0000	0.4594	0.2025	0.2025
21	0.8712	2.3507	2.5563	2.5563	68	0.0000	0.4487	0.1845	0.1845
22	0.7046	2.5898	2.5812	2.5812	69	0.0000	0.4196	0.1681	0.1681
23	0.8135	2.6423	2.5685	2.5685	70	0.0000	0.3789	0.1530	0.1530
24	1.3836	2.7457	2.5342	2.5342	71	0.0000	0.3685	0.1393	0.1393
25	1.5566	2.6586	2.4907	2.4907	72	0.0000	0.3761	0.1267	0.1267
26	1.9217	2.5727	2.4458	2.4458	73	0.0000	0.3361	0.1153	0.1153
27	0.8712	2.4766	2.3942	2.3942	74	0.0000	0.3027	0.1048	0.1048
28	1.7295	2.3154	2.3377	2.3377	75	0.0000	0.3214	0.0953	0.0953
29	1.2491	2.1805	2.2812	2.2812	76	0.0000	0.2996	0.0866	0.0866
30	0.6406	2.0805	2.2162	2.2163	77	0.0000	0.2667	0.0787	0.0787
31	0.7430	1.9416	2.1422	2.1422	78	0.0000	0.2967	0.0716	0.0716
32	0.4164	1.8865	2.0606	2.0606	79	0.0000	0.2467	0.0650	0.0650
33	0.2306	1.7925	1.9704	1.9704	80	0.0000	0.2367	0.0591	0.0591
34	0.7046	1.6716	1.8782	1.8782	81	0.0000	0.2379	0.0537	0.0537
35	0.4164	1.6103	1.7873	1.7873	82	0.0000	0.1950	0.0487	0.0487
36	0.7623	1.5499	1.6998	1.6998	83	0.0000	0.1691	0.0443	0.0443
37	0.9929	1.4722	1.6210	1.6210	84	0.0000	0.1700	0.0402	0.0402
38	0.6085	1.4049	1.5486	1.5486	85	0.0000	0.1444	0.0365	0.0365
39	0.7430	1.3301	1.4802	1.4802	86	0.0000	0.1348	0.0332	0.0332
40	0.8712	1.2911	1.4181	1.4181	87	0.0000	0.1097	0.0301	0.0301
41	0.4356	1.2696	1.3589	1.3589	88	0.0000	0.0650	0.0273	0.0273
42	0.6406	1.2312	1.3012	1.3012	89	0.0000	0.0806	0.0248	0.0248
43	0.4548	1.2099	1.2455	1.2455	90	0.0000	0.0563	0.0225	0.0225
44	0.4164	1.1555	1.1905	1.1905	91	0.0000	0.0372	0.0205	0.0205
45	0.1025	1.0778	1.1337	1.1337	92	0.0000	0.0183	0.0186	0.0186
46	0.0000	1.0494	1.0732	1.0732	93	0.0000	0.0044	0.0169	0.0169
47	0.4548	0.9743	1.0141	1.0141	94	0.0000	0.0000	0.0153	0.0153

[解答 4]

貯留係数 k_{11} は式(4.55)に従って、ピーク流出高とその際の貯留高を用いると式(4.69)となる。その時の貯留指数 p_1 は、**前述したように**、貯留高と直接流出高（$s \sim q$）の関係（対数表示）より、近似的に $p_1 = 0.6$ の値が得られている。丸瀬布地点の洪水例では、$q_p = 2.7457$，$s_p = 41.7223$ であり、モデル定数は式(4.69)の値に設定される。

$$k_{11} = s_p \big/ q_p^{p_1} = 22.7602, \qquad p_1 = 0.6 \tag{4.97}$$

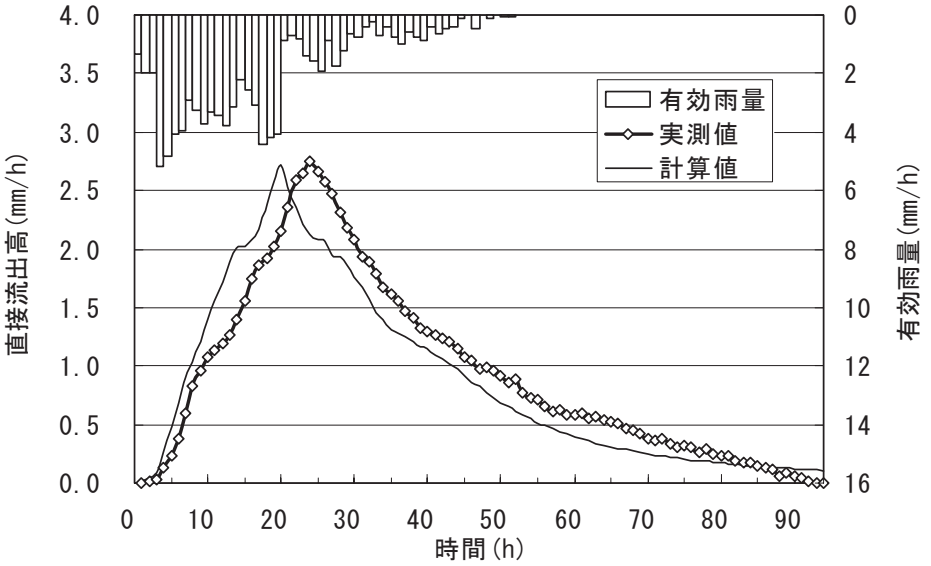
ここで、q_p：ピーク直接流出高(mm/h)，s_p：ピーク流量時の貯留高(mm)

この定数を用いて一価の非線形貯留関数法による直接流出高の実測値と計算値の関係を**表－6** と**図－6** に示す。

文責　東海林　勉

表－6　一価の非線形貯留関数法による直接流出高

時間	有効雨量	直接流出高(q)		時間	有効雨量	直接流出高(q)	
		実測値	計算値			実測値	計算値
t(hr)	r(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)	t(hr)	r(mm/h)	(mm/h)	(mm/h)
1	1.3580	0.0034	0.0091	48	0.0000	0.9854	0.7730
2	1.9537	0.0164	0.0397	49	0.1281	0.9578	0.7322
3	1.9793	0.0235	0.0855	50	0.0000	0.9227	0.6869
4	5.1885	0.1295	0.2634	51	0.0641	0.8580	0.6493
5	4.8106	0.2301	0.4807	52	0.0448	0.8836	0.6136
6	4.0867	0.3852	0.6870	53	0.0000	0.7690	0.5781
7	3.9714	0.5908	0.8988	54	0.0000	0.7291	0.5455
8	2.8825	0.8292	1.0371	55	0.0000	0.7177	0.5153
9	3.2604	0.9603	1.2010	56	0.0000	0.6580	0.4875
10	3.6960	1.0711	1.3958	57	0.0000	0.6131	0.4617
11	3.3181	1.1417	1.5534	58	0.0000	0.6289	0.4378
12	3.4462	1.1912	1.7148	59	0.0000	0.5779	0.4156
13	3.7793	1.2659	1.8977	60	0.0000	0.5867	0.3949
14	3.1131	1.4011	2.0087	61	0.0000	0.5956	0.3757
15	2.1971	1.5520	2.0261	62	0.0000	0.5516	0.3577
16	2.5622	1.7384	2.0759	63	0.0000	0.5603	0.3409
17	3.0875	1.8573	2.1713	64	0.0000	0.5428	0.3252
18	4.4134	1.9209	2.3883	65	0.0000	0.5190	0.3105
19	4.1956	2.0257	2.5690	66	0.0000	0.5082	0.2967
20	4.0932	2.1540	2.7251	67	0.0000	0.4594	0.2837
21	0.8712	2.3507	2.5357	68	0.0000	0.4487	0.2716
22	0.7046	2.5898	2.3538	69	0.0000	0.4196	0.2601
23	0.8135	2.6423	2.2047	70	0.0000	0.3789	0.2493
24	1.3836	2.7457	2.1268	71	0.0000	0.3685	0.2391
25	1.5566	2.6586	2.0733	72	0.0000	0.3761	0.2295
26	1.9217	2.5727	2.0591	73	0.0000	0.3361	0.2205
27	0.8712	2.4766	1.9497	74	0.0000	0.3027	0.2119
28	1.7295	2.3154	1.9296	75	0.0000	0.3214	0.2038
29	1.2491	2.1805	1.8682	76	0.0000	0.2996	0.1961
30	0.6406	2.0805	1.7593	77	0.0000	0.2667	0.1889
31	0.7430	1.9416	1.6710	78	0.0000	0.2967	0.1820
32	0.4164	1.8865	1.5645	79	0.0000	0.2467	0.1754
33	0.2306	1.7925	1.4542	80	0.0000	0.2367	0.1691
34	0.7046	1.6716	1.3936	81	0.0000	0.2379	0.1632
35	0.4164	1.6103	1.3160	82	0.0000	0.1950	0.1576
36	0.7623	1.5499	1.2729	83	0.0000	0.1691	0.1522
37	0.9929	1.4722	1.2512	84	0.0000	0.1700	0.1471
38	0.6085	1.4049	1.2021	85	0.0000	0.1444	0.1422
39	0.7430	1.3301	1.1675	86	0.0000	0.1348	0.1375
40	0.8712	1.2911	1.1454	87	0.0000	0.1097	0.1331
41	0.4356	1.2696	1.0931	88	0.0000	0.0650	0.1288
42	0.6406	1.2312	1.0602	89	0.0000	0.0806	0.1248
43	0.4548	1.2099	1.0168	90	0.0000	0.0563	0.1209
44	0.4164	1.1555	0.9745	91	0.0000	0.0372	0.1171
45	0.1025	1.0778	0.9143	92	0.0000	0.0183	0.1136
46	0.0000	1.0494	0.8528	93	0.0000	0.0044	0.1102
47	0.4548	0.9743	0.8265	94	0.0000	0.0000	0.1069



図－6　一価の非線形貯留関数法による流出解析結果

[解答 5]

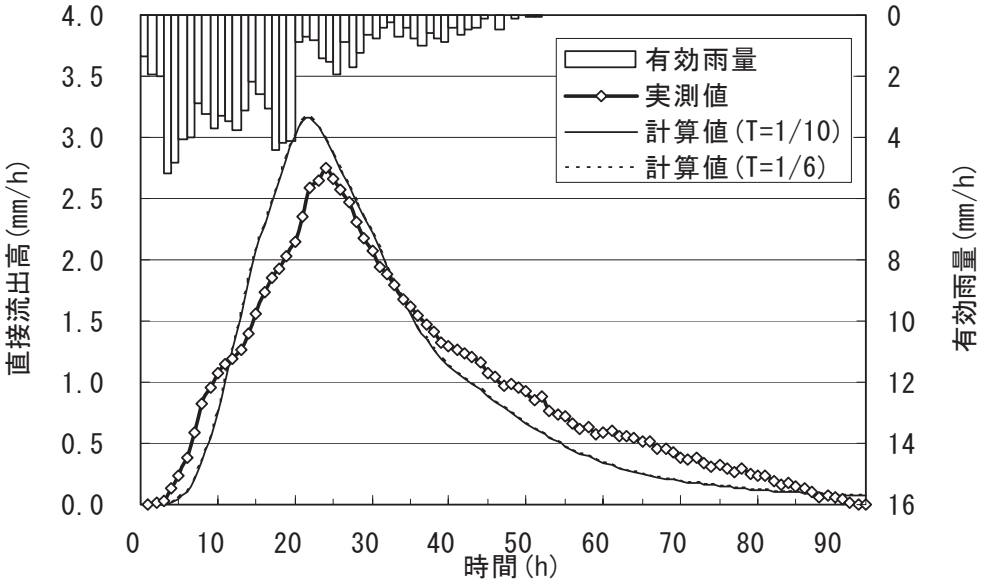
丸瀬布地点の洪水例では、$A = 802.0\,(\mathrm{km}^2)$, $\overline{r} = 1.8034\,(\mathrm{mm/h})$(総有効雨量を 0 以外の標本数で除した値)である。$f_c = 1.5$ と仮定すれば、モデル定数は以下の値に設定される。

$$k_{11} = 21.0805 \quad k_{12} = 107.7715 \quad p_1 = 0.6 \quad p_2 = 0.4648 \tag{4.98}$$

計算時間間隔を$T = 1/10$ と$T = 1/6$ の 2 ケースにつき、二価の非線形貯留関数法による直接流出高の実測値と計算値の関係を**図－7** 及び**表－7** に示す。**図－7** 及び**表－7** を見ても明らかなように、計算時間間隔の違いによる直接流出高の計算値の差異は見られない。

また、実測値に比べ計算値のハイドログラフは、ピーク付近が大きく、ピーク生起時刻が早い。ハイドログラフの減衰部では、計算値の方が早く減衰している。

文責　東海林　勉



図－7　二価の非線形貯留関数法による流出解析結果

表－7　二価の非線形貯留関数法による直接流出高

時間	有効雨量	直接流出高(q)			時間	有効雨量	直接流出高(q)		
		実測値	計算値(mm/h)				実測値	計算値(mm/h)	
t(h)	r(mm/h)	(mm/h)	T=1/10	T=1/6	t(h)	r(mm/h)	(mm/h)	T=1/10	T=1/6
1	1.3580	0.0034	0.0000	0.0000	48	0.0000	0.9854	0.7506	0.7506
2	1.9537	0.0164	0.0004	0.0004	49	0.1281	0.9578	0.7069	0.7069
3	1.9793	0.0235	0.0026	0.0026	50	0.0000	0.9227	0.6643	0.6643
4	5.1885	0.1295	0.0119	0.0119	51	0.0641	0.8580	0.6230	0.6230
5	4.8106	0.2301	0.0409	0.0409	52	0.0448	0.8836	0.5838	0.5838
6	4.0867	0.3852	0.1030	0.1030	53	0.0000	0.7690	0.5466	0.5466
7	3.9714	0.5908	0.2076	0.2076	54	0.0000	0.7291	0.5111	0.5112
8	2.8825	0.8292	0.3545	0.3546	55	0.0000	0.7177	0.4778	0.4778
9	3.2604	0.9603	0.5377	0.5377	56	0.0000	0.6580	0.4465	0.4465
10	3.6960	1.0711	0.7565	0.7565	57	0.0000	0.6131	0.4174	0.4174
11	3.3181	1.1417	1.0042	1.0043	58	0.0000	0.6289	0.3904	0.3904
12	3.4462	1.1912	1.2698	1.2699	59	0.0000	0.5779	0.3653	0.3653
13	3.7793	1.2659	1.5490	1.5490	60	0.0000	0.5867	0.3422	0.3422
14	3.1131	1.4011	1.8277	1.8278	61	0.0000	0.5956	0.3208	0.3208
15	2.1971	1.5520	2.0769	2.0770	62	0.0000	0.5516	0.3011	0.3011
16	2.5622	1.7384	2.2854	2.2854	63	0.0000	0.5603	0.2830	0.2830
17	3.0875	1.8573	2.4650	2.4651	64	0.0000	0.5428	0.2662	0.2662
18	4.4134	1.9209	2.6432	2.6432	65	0.0000	0.5190	0.2508	0.2508
19	4.1956	2.0257	2.8308	2.8309	66	0.0000	0.5082	0.2365	0.2365
20	4.0932	2.1540	3.0164	3.0164	67	0.0000	0.4594	0.2233	0.2233
21	0.8712	2.3507	3.1394	3.1394	68	0.0000	0.4487	0.2111	0.2111
22	0.7046	2.5898	3.1571	3.1571	69	0.0000	0.4196	0.1999	0.1999
23	0.8135	2.6423	3.0942	3.0943	70	0.0000	0.3789	0.1894	0.1894
24	1.3836	2.7457	2.9861	2.9862	71	0.0000	0.3685	0.1798	0.1798
25	1.5566	2.6586	2.8608	2.8608	72	0.0000	0.3761	0.1708	0.1708
26	1.9217	2.5727	2.7360	2.7360	73	0.0000	0.3361	0.1624	0.1624
27	0.8712	2.4766	2.6049	2.6049	74	0.0000	0.3027	0.1547	0.1547
28	1.7295	2.3154	2.4725	2.4726	75	0.0000	0.3214	0.1474	0.1474
29	1.2491	2.1805	2.3482	2.3482	76	0.0000	0.2996	0.1407	0.1407
30	0.6406	2.0805	2.2190	2.2190	77	0.0000	0.2667	0.1343	0.1343
31	0.7430	1.9416	2.0846	2.0846	78	0.0000	0.2967	0.1284	0.1284
32	0.4164	1.8865	1.9481	1.9481	79	0.0000	0.2467	0.1229	0.1229
33	0.2306	1.7925	1.8087	1.8087	80	0.0000	0.2367	0.1177	0.1177
34	0.7046	1.6716	1.6756	1.6756	81	0.0000	0.2379	0.1128	0.1129
35	0.4164	1.6103	1.5529	1.5529	82	0.0000	0.1950	0.1083	0.1083
36	0.7623	1.5499	1.4419	1.4419	83	0.0000	0.1691	0.1040	0.1040
37	0.9929	1.4722	1.3483	1.3483	84	0.0000	0.1700	0.0999	0.0999
38	0.6085	1.4049	1.2675	1.2675	85	0.0000	0.1444	0.0961	0.0961
39	0.7430	1.3301	1.1957	1.1957	86	0.0000	0.1348	0.0925	0.0925
40	0.8712	1.2911	1.1345	1.1345	87	0.0000	0.1097	0.0890	0.0890
41	0.4356	1.2696	1.0794	1.0794	88	0.0000	0.0650	0.0858	0.0858
42	0.6406	1.2312	1.0280	1.0280	89	0.0000	0.0806	0.0828	0.0828
43	0.4548	1.2099	0.9807	0.9807	90	0.0000	0.0563	0.0799	0.0799
44	0.4164	1.1555	0.9353	0.9354	91	0.0000	0.0372	0.0771	0.0771
45	0.1025	1.0778	0.8895	0.8895	92	0.0000	0.0183	0.0745	0.0745
46	0.0000	1.0494	0.8410	0.8410	93	0.0000	0.0044	0.0720	0.0720
47	0.4548	0.9743	0.7947	0.7947	94	0.0000	0.0000	0.0696	0.0696

第 6 回　流出解析ゼミ

― 一価線形・非線形貯留関数法の最適化 ―

[問題 1]

丸瀬布地点における平成 13 年 9 月の洪水資料(有効雨量と直接流出高)を用いて、**一価の線形貯留関数法**のモデル定数 k を次に示す 3 種の最適化手法により同定し、**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の指標を 3 種の最適化手法について比較せよ。

(i)　一階ニュートン法

(ii)　二階ニュートン法

(iii)　ダビドン法

また、一階ニュートン法による最適化結果を用いて、実測ハイドログラフと計算ハイドログラフを図示せよ。

なお、計算時間間隔は T =1/6、k の初期値を k =15.1955 とせよ。

[問題 2]

丸瀬布地点における平成 13 年 9 月の洪水資料(有効雨量と直接流出高)を用いて、**一価の非線形貯留関数法**のモデル定数 k_{11} を次に示す 3 種の最適化手法により同定し、**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の指標を 3 種の最適化手法について比較せよ。

(i)　一階ニュートン法

(ii)　二階ニュートン法

(iii)　ダビドン法

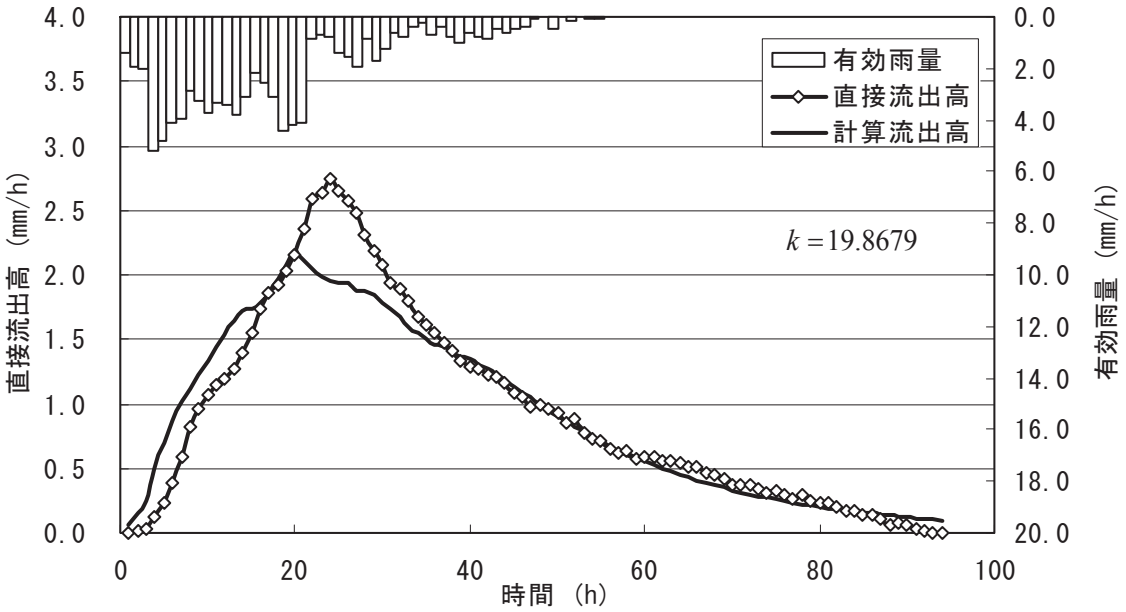
また、一階ニュートン法による最適化結果を用いて、実測ハイドログラフと計算ハイドログラフを図示せよ。

なお、計算時間間隔は T =1/6、p_1 を p_1 =0.6 とし、k_{11} の初期値を k_{11} =22.7602 とせよ。

［解答 1］

表－3　一価線形貯留関数法のパラメータ最適化

	一階ニュートン法	二階ニュートン法	ダビドン法
収束回数	4	3	4
最適値 k	19.8679	19.8504	19.8588
MSE（目的関数）$(\mathrm{mm/h})^2$	0.0528	0.0528	0.0528
$RMSE$ (mm/h)	0.2297	0.2297	0.2297
$KAI2$ (mm/h)	0.1356	0.1356	0.1356
J_{re}	0.2188	0.2190	0.2189
E_w	0.2157	0.2159	0.2158
E	0.0070	0.0070	0.0070
E_v	0.0218	0.0218	0.0218
E_p	0.2061	0.2057	0.2059

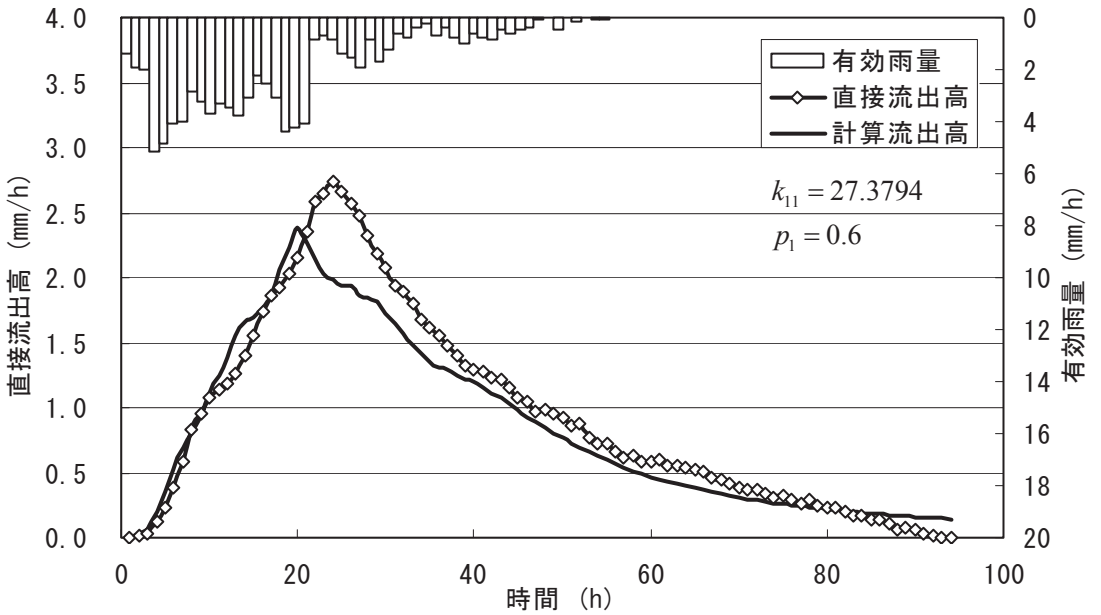


図－1　一階ニュートン法によるパラメータ最適値を用いた再現結果（一価線形貯留関数法）

[解答 2]

表－4　一価非線形貯留関数法のパラメータ最適化

	一階ニュートン法	二階ニュートン法	ダビドン法
収束回数	5	3	4
最適値 k_{11}	27.3794	27.3890	27.3918
MSE（目的関数）$(\mathrm{mm/h})^2$	0.0477	0.0477	0.0477
RMSE (mm/h)	0.2185	0.2185	0.2185
KAI2 (mm/h)	0.0973	0.0974	0.0974
J_{re}	0.2194	0.2193	0.2193
E_w	0.1201	0.1202	0.1202
E	0.0063	0.0063	0.0063
E_v	0.0951	0.0951	0.0951
E_p	0.1336	0.1338	0.1339



図－2　一階ニュートン法によるパラメータ最適値を用いた再現結果（一価非線形貯留関数法）

文責　東海林　勉

第 7 回　流出解析ゼミ

― 二価の線形・非線形貯留関数法の最適化 ―

[問題 1]

丸瀬布地点における平成 13 年 9 月の洪水資料(有効雨量と直接流出高)を用いて、**二価の線形貯留関数法**のモデル定数 k_1 と k_2 を次に示す 3 種の最適化手法により同定し、**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の指標を 3 種の最適化手法について比較せよ。

(i)　一階ニュートン法

(ii)　二階ニュートン法

(iii)　ダビドン法

また、一階ニュートン法による最適化結果を用いて、実測ハイドログラフと計算ハイドログラフを図示せよ。

なお、計算時間間隔は T =1/6、k_1 と k_2 の初期値をそれぞれ、k_1 =15. 1955、k_2 =50. 3734 とせよ。精度評価指標(E_w と J_{re})の計算においては、洪水開始直後と洪水終了直前で誤差が大きくなる傾向にあるため、0. 01($m^3/s/km^2$)に相当する比流量、すなわち、実測値が 0. 04(mm/h)以下の流出高を計算対象から除くものとする。

[問題 2]

丸瀬布地点における平成 13 年 9 月の洪水資料(有効雨量と直接流出高)を用いて、**二価の非線形留関数法**のモデル定数 k_{11} と k_{12} を次に示す 3 種の最適化手法により同定し、**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の指標を 3 種の最適化手法について比較せよ。

(i)　一階ニュートン法

(ii)　二階ニュートン法

(iii)　ダビドン法

また、一階ニュートン法による最適化結果を用いて、実測ハイドログラフと計算ハイドログラフを図示せよ。

なお、計算時間間隔は T =1/6、p_1 と p_2 の値をそれぞれ、p_1 =0. 6、p_2 =0. 4648 とし、k_{11} と k_{12} の初期値をそれぞれ、k_{11} =21. 0768、k_{12} =109. 4430 とせよ。精度評価指標(E_w と J_{re})の計算については、**[問題 1]**と同じ条件とする。

[問題 3]

丸瀬布地点における平成 13 年 9 月の洪水資料(有効雨量と直接流出高)を用いて、**二価の非線形貯留関数法**の未知定数 $f_c = \left(n/\sqrt{i}\right)^{0.6}$ の 1 次元探索を次に示す 3 種の最適化手法により行い、最適値 k_{11} と k_{12} を求め、**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の指標を 3 種の最適化手法について比較せよ。

(i)　一階ニュートン法

(ii)　二階ニュートン法

(iii)　ダビドン法

また、一階ニュートン法による最適化結果を用いて、実測ハイドログラフと計算ハイドログラフを

図示せよ。

なお、計算時間間隔はT=1/6、f_cの初期値をf_c=1.5 とせよ。精度評価指標（E_wとJ_{re}）の計算については、**[問題 1]**と同じ条件とする。

[問題 4]

「第 6 回ゼミ」においては、一価の線形・非線形貯留関数法のモデル定数を 3 種類の最適化手法を用いて同定した。

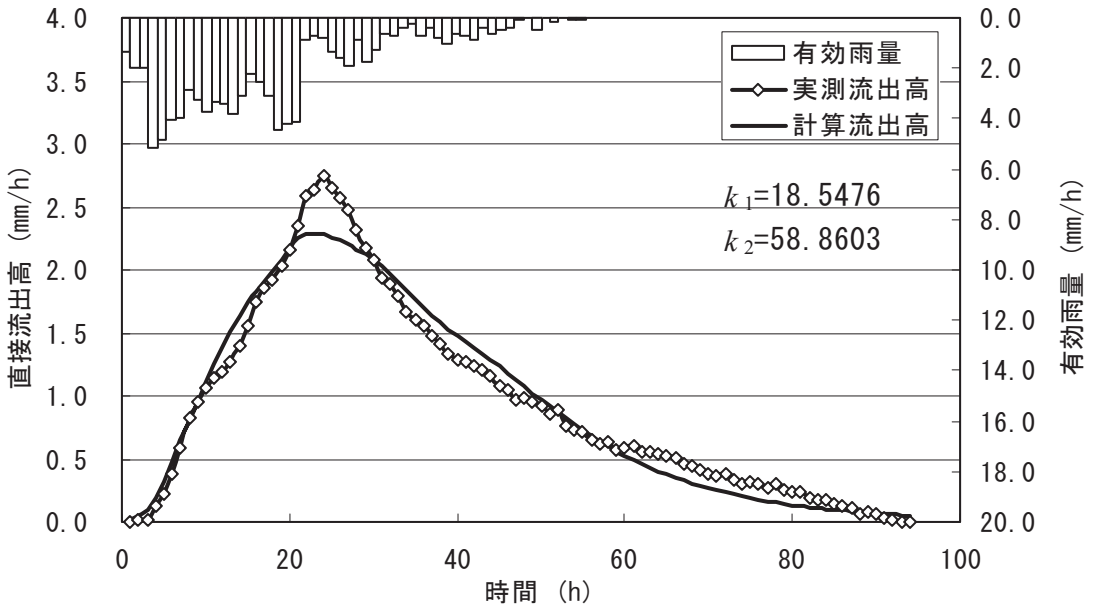
同様に、**「第 7 回ゼミ」**においては、二価の線形・非線形貯留関数法のモデル定数を 3 種類の最適化手法を用いて同定した。

以上、丸瀬布地点における平成 13 年洪水例に関して、4 種類の貯留関数法と 3 種類の最適化手法による結果を比較して、流出モデル及び最適化手法の優劣を判定せよ。

［解答 1］

表－1　二価線形貯留関数法のパラメータ最適化

	一階ニュートン法	二階ニュートン法	ダビドン法
収束回数	5	6	5
最適値 k_1	18.5476	18.5677	18.5576
最適値 k_2	58.8603	58.8512	58.8447
MSE（目的関数）$(\mathrm{mm/h})^2$	0.0193	0.0195	0.0195
$RMSE$ (mm/h)	0.1390	0.1396	0.1396
$KAI2$ (mm/h)	0.0297	0.0300	0.0300
J_{re}	0.1747	0.1742	0.1744
E_w	0.0486	0.0482	0.0484
E	0.0026	0.0026	0.0026
E_v	0.0075	0.0081	0.0081
E_p	0.1648	0.1653	0.1650

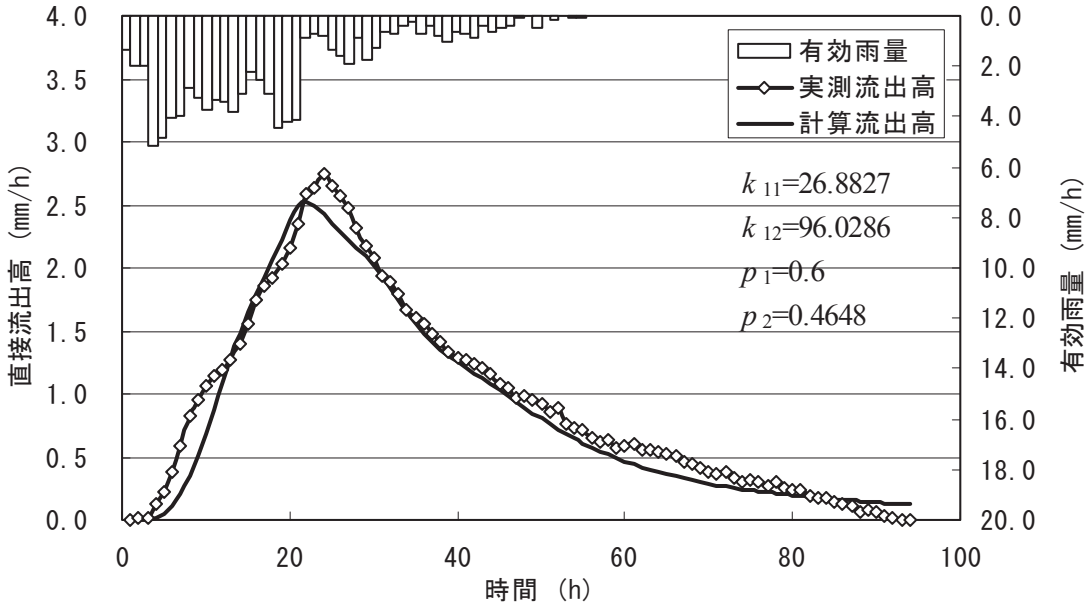


図－1　一階ニュートン法によるパラメータ最適値を用いた再現結果（二価線形貯留関数法）

[解答 2]

表－2　二価非線形貯留関数法のパラメータ最適化

	一階ニュートン法	二階ニュートン法	ダビドン法
収束回数	7	7	6
最適値 k_{11}	26.8827	26.8831	26.8819
最適値 k_{12}	96.0286	95.8731	95.9768
MSE（目的関数）$(\mathrm{mm/h})^2$	0.0217	0.0217	0.0217
RMSE (mm/h)	0.1474	0.1474	0.1474
KAI2 (mm/h)	0.0758	0.0758	0.0758
J_{re}	0.2089	0.2089	0.2089
E_w	0.1090	0.1090	0.1090
E	0.0029	0.0029	0.0029
E_v	0.0800	0.0800	0.0800
E_p	0.0807	0.0809	0.0808

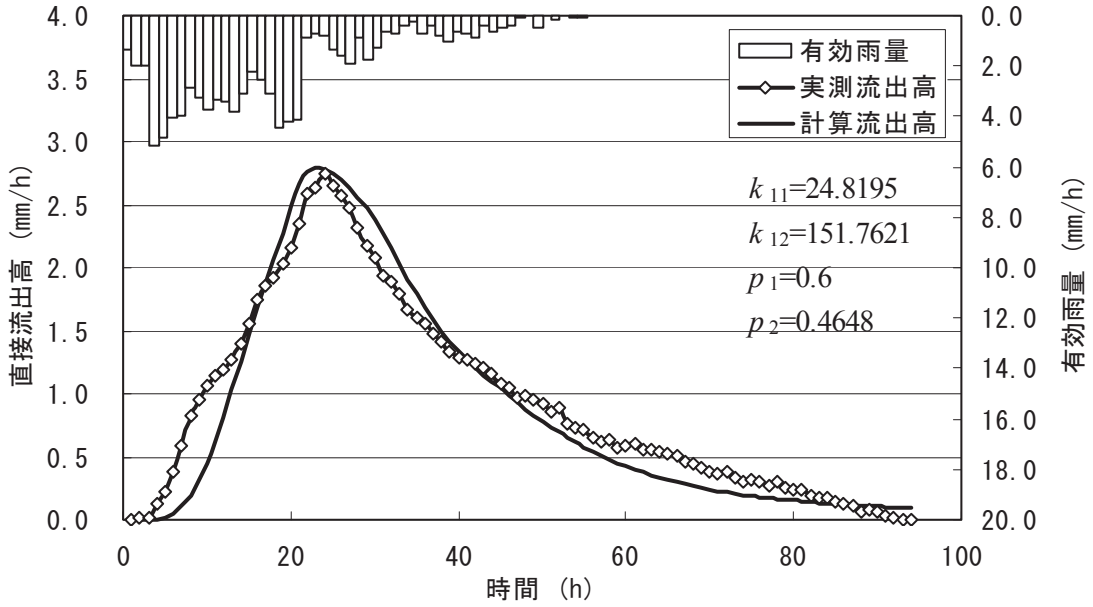


図－2 一階ニュートン法によるパラメータ最適値を用いた再現結果（二価非線形貯留関数法）

[解答 3]

表－3　二価非線形貯留関数法の f_c 最適化

	一階ニュートン法	二階ニュートン法	ダビドン法
収束回数	9	7	8
最適値 f_c	1.7661	1.7667	1.7676
最適値 k_{11}	24.8195	24.8287	24.8408
最適値 k_{12}	151.7621	151.8749	152.0224
MSE（目的関数） $(\mathrm{mm/h})^2$	0.0414	0.0414	0.0414
RMSE (mm/h)	0.2035	0.2035	0.2035
KAI2 (mm/h)	0.0762	0.0762	0.0762
J_{re}	0.2578	0.2577	0.2576
E_w	0.1174	0.1174	0.1174
E	0.0055	0.0055	0.0055
E_v	0.0577	0.0578	0.0578
E_p	−0.0167	−0.0164	−0.0159



図－3　一階ニュートン法による *fc* 最適値を用いた再現結果（二価非線形貯留関数法）

［解答 4］

表－4　1 価及び 2 価の線形・非線形貯留関数法のモデル定数最適化結果

最適化手法		線形貯留方程式		非線形貯留方程式		
		1価	2価	1価	2価	2価(f_c)
一階ニュートン法	収束回数	4	5	5	7	9
	f_c	−	−	−	−	1.7661
	k_{11}	19.8679	18.5476	27.3794	26.8827	24.8195
	k_{12}	−	58.8603	−	96.0286	151.7621
	MSE (mm/h)^2	0.0528	0.0193	0.0477	0.0217	0.0414
	$RMSE$ (mm/h)	0.2297	0.1390	0.2185	0.1474	0.2035
	$KAI2$ (mm/h)	0.1356	0.0297	0.0973	0.0758	0.0762
	J_{re}	0.2188	0.1747	0.2194	0.2089	0.2578
	E_w	0.2157	0.0486	0.1201	0.1090	0.1174
	E	0.0070	0.0026	0.0063	0.0029	0.0055
	E_v	0.0218	0.0075	0.0951	0.0800	0.0577
	E_p	0.2061	0.1648	0.1336	0.0807	−0.0167
二階ニュートン法	収束回数	3	6	3	7	7
	f_c	−	−	−	−	1.7667
	k_{11}	19.8504	18.5677	27.3890	26.8831	24.8287
	k_{12}	−	58.8512	−	95.8731	151.8749
	MSE (mm/h)^2	0.0528	0.0195	0.0477	0.0217	0.0414
	$RMSE$ (mm/h)	0.2297	0.1396	0.2185	0.1474	0.2035
	$KAI2$ (mm/h)	0.1356	0.0300	0.0974	0.0758	0.0762
	J_{re}	0.2190	0.1742	0.2193	0.2089	0.2577
	E_w	0.2159	0.0482	0.1202	0.1090	0.1174
	E	0.0070	0.0026	0.0063	0.0029	0.0055
	E_v	0.0218	0.0081	0.0951	0.0800	0.0578
	E_p	0.2057	0.1653	0.1338	0.0809	−0.0164
ダビドン法	収束回数	4	5	4	6	8
	f_c	−	−	−	−	1.7676
	k_{11}	19.8588	18.5576	27.3918	26.8819	24.8408
	k_{12}	−	58.8447	−	95.9768	152.0224
	MSE (mm/h)^2	0.0528	0.0195	0.0477	0.0217	0.0414
	$RMSE$ (mm/h)	0.2297	0.1396	0.2185	0.1474	0.2035
	$KAI2$ (mm/h)	0.1356	0.0300	0.0974	0.0758	0.0762
	J_{re}	0.2189	0.1744	0.2193	0.2089	0.2576
	E_w	0.2158	0.0484	0.1202	0.1090	0.1174
	E	0.0070	0.0026	0.0063	0.0029	0.0055
	E_v	0.0218	0.0081	0.0951	0.0800	0.0578
	E_p	0.2059	0.1650	0.1339	0.0808	−0.0159

［解答 4］

4 種類の貯留関数型流出モデル及び 3 種類の最適化手法を実際の洪水例に適用して、精度評価指標や実測・計算ハイドログラフを比較することにより、適合度の検討を行った結果を下記に要約して述べる。

1. 一価と二価の貯留方程式の比較について

実際に観測された貯留高と直接流出高の関係（S～Q 曲線）は、二価関数になっていることから、ハイドログラフの再現性を考慮すれば、二価の貯留方程式で解析するのが妥当と考えられる。適用例における一価と二価の貯留方程式を用いた精度評価指標を比べると、一価より二価の貯留関数法の方が、誤差指標は小さい。すなわち、二価の貯留関数法による計算結果の方が、実測値と計算値との誤差が小さく、再現性が良いと言える。

2. 線形と非線形の貯留方程式の比較について

両対数紙上にプロットされる貯留高と流出高を見ても、S～Q 関係式が線形で表されることは稀であり、貯留方程式として、非貯留関数式を採用したほうが現実的にも妥当と考えられる。解析例における線形式と非線形式による精度評価指標を比較しても、大きな差は見られなかった。たとえば、二価線形貯留関数法では、ピーク近傍を除けば、ハイドログラフの上昇部及び低減部の再現性は、非線形貯留関数法に比べても遜色はない。しかしながら、ピーク流出高の相対誤差 E_p を比較した場合、非線形の方が、実測値との誤差は小さく適合性が良い。洪水ハイドログラフの再現計算、とくに基本高水の算定では、洪水期間中のハイドログラフの波形に加えて、ピーク流出量の再現性に主眼がおかれる。このため、ピーク流出高誤差 E_p が小さい非線形貯留方程式の方が、望ましいモデルであると言える。

3. パラメータの最適化手法の比較について

一階ニュートン法、二階ニュートン法及びダビドン法による 3 種の最適化手法の比較検討を行った。解析例では、すべてのケースにおいて最適値が得られ、モデル定数と目的関数も同程度の値が求まっており、3 手法の優劣をつけることは困難である。すなわち、最も頻繁に用いられている最適化手法の一階ニュートン法が実用的であると言える。しかしながら、すべての最適化手法の解が収束するとは限らないので、他の最適化手法であるダビドン法や二階のニュートン法を代価案として用意しておくことも無益ではない。2 山洪水例や多くの洪水例について、3 種の最適化手法の比較検討が今後とも必要である。

4. 二価非線形貯留関数法のモデル定数（k_{11}、k_{12}）と定数 f_c の最適化比較について

二価非線形貯留関数法において、モデル定数（k_{11}、k_{12}）の同時最適化と 1 個の未知定数 f_c の最適化を行った結果、誤差指標は同程度の値であった。しかしながら、ピーク流出高誤差 E_P に関しては、モデル定数 f_c の最適化を行った方が、再現性が良い。二価非線形貯留関数法においては、モデル定数（k_{11}、k_{12}）が f_c の関数で一義的に与えられることから、未知定数 f_c の一次元探索が計算も単純で、作業効率がよいと言える。

以上の考察により、二価の非線形貯留関数法におけるモデル定数 f_c の最適化手法が、ハイドログラフの形状やピーク流出量の再現性及び計算の簡便性からも、最も実用性が高いと考えられる。しかしながら、これまでの考察は湧別川丸瀬布地点における平成 13 年 9 月の 1 洪水のみを対象とした解析結果であるため、今後、多数の洪水例に関しての検証が必要となる。

文責　仙庭　真司

第 8 回　流出解析ゼミ

― 流域における Kinematic wave 法と一般化貯留関数法の関係 ―

［問題］

降雨入力が矩形波形で与えられる場合、無次元領域での降雨強度は $R = r/r_* = 1$ となり、変数の数は Kinematic 指数 m と継続時間 T_r の 2 個のみとなる。一方、無次元到達時間は、$T_c = R^{(1-m)/m} = 1$ となることから、実際の流出現象では $T_r > T_c$ の場合を想定すればよい。したがって、以後の解析では $T_r = 2$ と設定する。

以下の設問に答えよ。

(1)　$R = 1$、$T_r = 2$、$m = 5/3$ の条件のもとに、無次元 Kinematic wave 解の斜面端末におけるハイドログラフ Q を計算せよ。なお、サンプリング時間間隔を $\Delta T = 0.05$ として、$T = 4$ までの Q を表に整理せよ。すなわち、流量のデータ数は $N = 80$ とする。

また、$T > T_r$ における Q の算定に当たっては、一階のニュートン法を用いよ。降雨波形とハイドログラフを図示せよ。計算終了時刻を $T = 4$ とせよ。

(2)　設問(1)の条件のもと、斜面上の貯留量 S を計算し、$S \sim Q$ 曲線の関係を図表にて整理せよ。

(3)　設問(1)の条件のもとに、無次元貯留関数法の解（Q と S）を図表に整理せよ。なお、貯留関数法のモデル定数を次式にて算定せよ。

$$K_{11} = m/(m+1)、\quad K_{12} = 0.1m^{0.2}、\quad p_1 = 1/m、\quad p_2 = 1/m^{3/2}$$

また、貯留関数法における計算時間間隔は $\Delta T = 0.01$ とし、$T = 4$ まで計算せよ。

(4)　Kinematic wave 解と貯留関数解を比較して、適合度を検討せよ。

(5)　式(8.5)のダルシー則 $(m = 1)$ とハックの地形則を用いたときの貯留関数モデル定数の実用推定式を作成せよ。

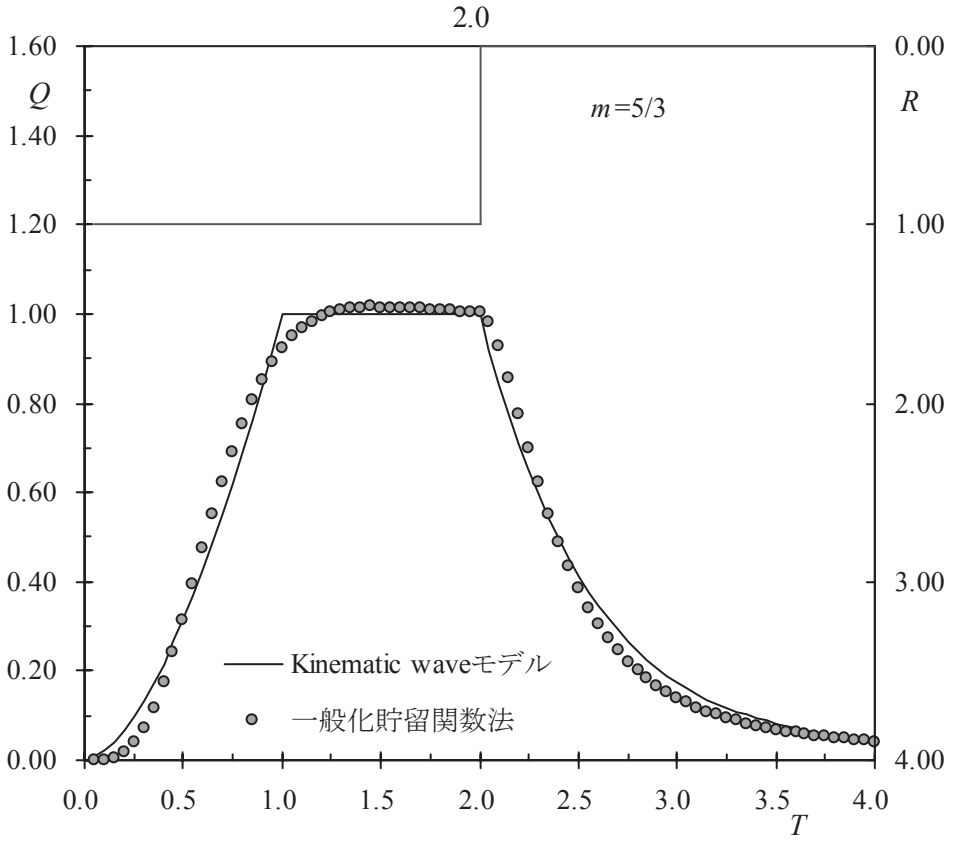
［解答］

表－2　無次元 Kinematic wave モデルと無次元貯留関数法の流量 Q 及び貯留量 S

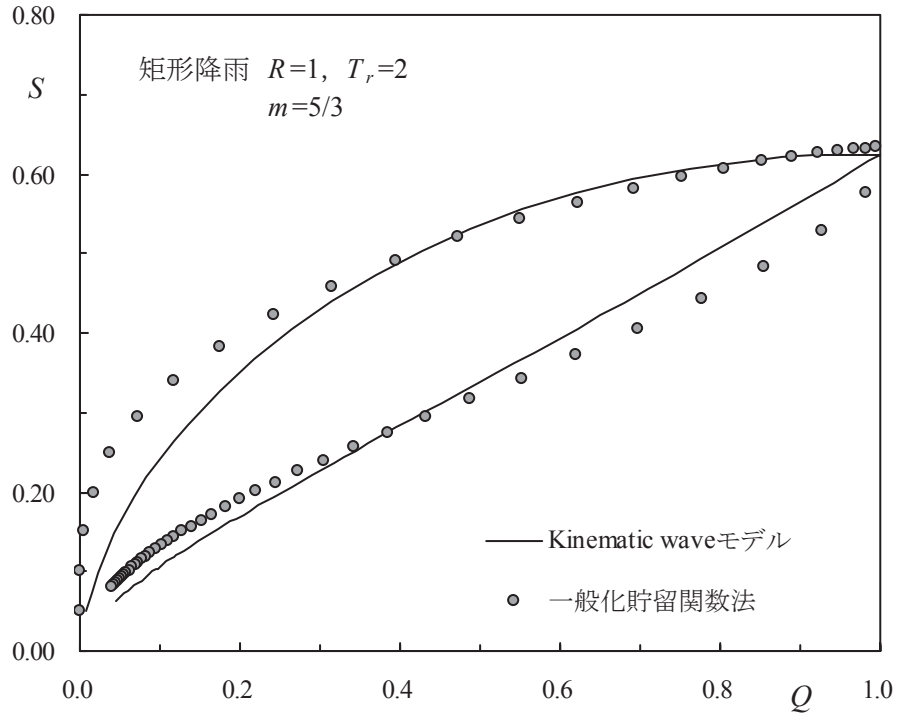
	T	R	*Kinematic wave 法*		*一般化貯留関数法*	
			Q	S	Q	S
1	0.05	1.0000	0.0068	0.0499	0.0001	0.0500
2	0.10	1.0000	0.0215	0.0992	0.0011	0.1000
3	0.15	1.0000	0.0423	0.1476	0.0057	0.1499
4	0.20	1.0000	0.0684	0.1949	0.0171	0.1993
5	0.25	1.0000	0.0992	0.2407	0.0385	0.2480
6	0.30	1.0000	0.1344	0.2849	0.0717	0.2953
7	0.35	1.0000	0.1738	0.3272	0.1175	0.3406
8	0.40	1.0000	0.2172	0.3674	0.1748	0.3834
9	0.45	1.0000	0.2643	0.4054	0.2418	0.4230
10	0.50	1.0000	0.3150	0.4409	0.3159	0.4591
11	0.55	1.0000	0.3692	0.4739	0.3939	0.4913
12	0.60	1.0000	0.4268	0.5040	0.4730	0.5197
13	0.65	1.0000	0.4877	0.5311	0.5503	0.5441
14	0.70	1.0000	0.5519	0.5551	0.6237	0.5647
15	0.75	1.0000	0.6191	0.5759	0.6915	0.5818
16	0.80	1.0000	0.6894	0.5932	0.7524	0.5957
17	0.85	1.0000	0.7627	0.6069	0.8060	0.6067
18	0.90	1.0000	0.8390	0.6169	0.8520	0.6152
19	0.95	1.0000	0.9181	0.6229	0.8907	0.6216
20	1.00	1.0000	1.0000	0.6250	0.9225	0.6262
21	1.05	1.0000	1.0000	0.6250	0.9482	0.6294
22	1.10	1.0000	1.0000	0.6250	0.9683	0.6315
23	1.15	1.0000	1.0000	0.6250	0.9837	0.6327
24	1.20	1.0000	1.0000	0.6250	0.9951	0.6332
25	1.25	1.0000	1.0000	0.6250	1.0033	0.6332
26	1.30	1.0000	1.0000	0.6250	1.0089	0.6329
27	1.35	1.0000	1.0000	0.6250	1.0124	0.6324
28	1.40	1.0000	1.0000	0.6250	1.0144	0.6317
29	1.45	1.0000	1.0000	0.6250	1.0151	0.6310
30	1.50	1.0000	1.0000	0.6250	1.0151	0.6302
31	1.55	1.0000	1.0000	0.6250	1.0144	0.6295
32	1.60	1.0000	1.0000	0.6250	1.0133	0.6288
33	1.65	1.0000	1.0000	0.6250	1.0120	0.6281
34	1.70	1.0000	1.0000	0.6250	1.0107	0.6276
35	1.75	1.0000	1.0000	0.6250	1.0093	0.6271
36	1.80	1.0000	1.0000	0.6250	1.0079	0.6266
37	1.85	1.0000	1.0000	0.6250	1.0067	0.6263
38	1.90	1.0000	1.0000	0.6250	1.0055	0.6260
39	1.95	1.0000	1.0000	0.6250	1.0045	0.6257
40	2.00	1.0000	1.0000	0.6250	1.0036	0.6255
41	2.05	0.0000	0.9194	0.5770	0.9815	0.5757
42	2.10	0.0000	0.8442	0.5330	0.9275	0.5279
43	2.15	0.0000	0.7743	0.4925	0.8558	0.4833
44	2.20	0.0000	0.7094	0.4555	0.7767	0.4424
45	2.25	0.0000	0.6494	0.4215	0.6971	0.4056
46	2.30	0.0000	0.5940	0.3904	0.6212	0.3727
47	2.35	0.0000	0.5430	0.3620	0.5515	0.3434
48	2.40	0.0000	0.4963	0.3361	0.4887	0.3174
49	2.45	0.0000	0.4534	0.3123	0.4331	0.2944
50	2.50	0.0000	0.4142	0.2907	0.3844	0.2740
51	2.55	0.0000	0.3785	0.2709	0.3419	0.2559
52	2.60	0.0000	0.3460	0.2528	0.3050	0.2397
53	2.65	0.0000	0.3164	0.2362	0.2729	0.2253
54	2.70	0.0000	0.2895	0.2211	0.2452	0.2123
55	2.75	0.0000	0.2650	0.2072	0.2210	0.2007
56	2.80	0.0000	0.2429	0.1945	0.2000	0.1902
57	2.85	0.0000	0.2229	0.1829	0.1817	0.1807
58	2.90	0.0000	0.2047	0.1722	0.1656	0.1720
59	2.95	0.0000	0.1882	0.1624	0.1515	0.1641
60	3.00	0.0000	0.1733	0.1534	0.1391	0.1568
61	3.05	0.0000	0.1597	0.1450	0.1281	0.1501
62	3.10	0.0000	0.1475	0.1374	0.1183	0.1440
63	3.15	0.0000	0.1363	0.1303	0.1096	0.1383
64	3.20	0.0000	0.1262	0.1237	0.1019	0.1330
65	3.25	0.0000	0.1170	0.1176	0.0949	0.1281
66	3.30	0.0000	0.1086	0.1120	0.0886	0.1235
67	3.35	0.0000	0.1009	0.1068	0.0829	0.1192
68	3.40	0.0000	0.0940	0.1019	0.0778	0.1152
69	3.45	0.0000	0.0876	0.0974	0.0731	0.1114
70	3.50	0.0000	0.0818	0.0931	0.0688	0.1079
71	3.55	0.0000	0.0764	0.0892	0.0649	0.1045
72	3.60	0.0000	0.0715	0.0855	0.0613	0.1014
73	3.65	0.0000	0.0670	0.0820	0.0581	0.0984
74	3.70	0.0000	0.0629	0.0788	0.0550	0.0956
75	3.75	0.0000	0.0591	0.0757	0.0522	0.0929
76	3.80	0.0000	0.0556	0.0729	0.0496	0.0904
77	3.85	0.0000	0.0524	0.0702	0.0473	0.0879
78	3.90	0.0000	0.0494	0.0676	0.0450	0.0856
79	3.95	0.0000	0.0466	0.0652	0.0429	0.0834
80	4.00	0.0000	0.0440	0.0630	0.0410	0.0813

(1)～(3)　無次元 Kinematic wave モデルと無次元貯留関数法の流量 Q 及び貯留量 S を**表－2** に示す。また、それぞれのハイドログラフ及び $S \sim Q$ 曲線の関係を**図－9** 及び**図－10** に示す。

(4)　**図－9** より 2 つのモデルによる流量 Q を比較すると、ハイドログラフの立ち上がり部及び減衰部において誤差が見られるが、Kinematic wave モデルと貯留関数法の適合性は高いといえる。



図－9　矩形降雨に対する Kinematic wave 法と貯留関数法によるハイドログラフ



図－10　矩形降雨に対する Kinematic wave 法と貯留関数法による S～Q 関係

(5)　式(8.5)のダルシー則における斜面流定数 α , m と、式(8.63)のハック地形則を式(8.59)に代入すると、以下の貯留関数モデル定数の実用推定式が得られる。なお、$\varepsilon = 0.6$、$\eta = 1.35$、$\xi = 0.6$ とする。

$$k_{11} = \frac{1}{2}\left(10^{-3}/3.6\right)\left(L/\alpha\right) = \frac{1}{2}\left(10^{-3}/3.6\right)\left(10^{3} \times \frac{\varepsilon}{\eta} A^{1-\xi}\right)\left(\frac{\lambda}{k_s i}\right) = 0.0617 f_c A^{0.4}$$

$$k_{12} = \left(\frac{1}{10}\right) 4 k_{11}^{2} \left(\bar{r}\right)^{2-1-1} = 0.4 k_{11}^{2}$$

$$p_1 = 1$$

$$p_2 = 1$$

$$f_c = \frac{\lambda}{k_s i}$$

以上より、$S = k_{11} q + k_{12} \dfrac{dq}{dt}$ で表される二価線形方程式が得られる。

文責　宮武　真由子

第 9 回　流出解析ゼミ

― 損失項を含む貯留関数法（1 段タンク型貯留関数モデル）―

[問題 1]

「第 3 回ゼミ」の**表－3** に示される丸瀬布地点における平成 13 年 9 月の洪水資料（実測雨量と実測流量）を用いて、**「損失項を含む貯留関数法（1 段タンク型貯留関数モデル）」**のパラメータ k_{11}, k_{12} 及び c_{13} の最適値を一階ニュートン法で求めよ。すなわち、式(9.2)に示される関数式を未知と仮定して、式(9.24)の感度係数を活用する。

なお、計算時間間隔は T =1/10、モデル定数 k_{11}, k_{12} 及び c_{13} の初期値をそれぞれ、k_{11} = 49.774, k_{12} = 284.608 及び c_{13} = 1.50 とせよ。また、λ = 0.014（湧別川水系における既往 32 洪水例の平均値）とせよ。

「第 5 回ゼミ」の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の精度評価指標を計算せよ。精度評価指標（E_w と J_{re} ）の計算においては、洪水開始直後と洪水終了直前で誤差が大きくなる傾向にあるため、0.01($m^3/s/km^2$)に相当する比流量、すなわち、実測値が 0.04(mm/h)以下の流出高を計算対象から除くものとする。

[問題 2]

[問題 1]と同じ洪水資料を用いて、1 段タンク型貯留関数モデル定数 c_{11}, c_{12} 及び c_{13} を次に示す 2 種の最適化手法により同定し、k_{11}, k_{12} を求めよ。すなわち、式(9.2)に示される関数式を仮定して、式(9.25)の一次感度係数と式(9.45)の二次感度係数を活用する。

(i)　一階ニュートン法

(ii)　ダビドン法

なお、計算時間間隔は T =1/10、モデル定数 c_{11}, c_{12} 及び c_{13} の初期値をそれぞれ、c_{11} =10.0, c_{12} =0.15 及び c_{13} = 1.50 とせよ。また、λ = 0.014 とせよ。

「第 5 回ゼミ」の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の指標を 2 種の最適化手法について比較せよ。

[問題 3]

式(9.2)に示されるように、モデル定数 k_{12} は定数 k_{11} の関数である。したがって、式(9.2)は以下のように置き換えることができる。

$$\begin{cases} k_{11} = c_{11} A^{0.24} \\ k_{12} = c_{12} k_{11}^2 \left(\overline{r}\right)^{-0.2648} \\ \quad = c_{12} c_{11}^2 A^{0.48} \left(\overline{r}\right)^{-0.2648} \\ \quad = c_{14} A^{0.48} \left(\overline{r}\right)^{-0.2648} \end{cases} \tag{9.46}$$

ここで、

$$c_{14} = c_{12} c_{11}^2 \tag{9.47}$$

[問題 1]と同じ洪水資料を用いて、式(9.46)に示されるモデル定数 c_{11}, c_{14} 及び式(9.5)に与えられる c_{13} の同時最適化を一階のニュートン法を用いて行い、式(9.47)の関係式を用いて、c_{12} の最適値を求め、式(9.2)から

k_{11}, k_{12} を計算せよ。

モデル定数 c_{11}，c_{14} 及び c_{13} の初期値は、[問題 2]の値と式(9.47)から求めよ。また、$\lambda = 0.014$ とせよ。「第 5 回ゼミ」の「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」に示される 8 種の精度評価指標を計算せよ。

[問題 1]、[問題 2]及び[問題 3]によるモデル定数 k_{11}, k_{12} 及び c_{13} の最適値が同一となっているかを検討せよ。最適化結果を用いて、実測ハイドログラフと計算ハイドログラフを図示せよ。

[解答 1～3]

表－1 と**表－2** の最適化結果によれば、どの最適化手法を用いても、モデル定数 k_{11}, k_{12} はほぼ同一の値が同定されていることが分かる。また、精度評価指標の値にも大きな差異は見られない。

したがって、今後の洪水解析にあたっては、定数 k_{11}, k_{12} に流域・降雨特性値が反映されている式(9.2)に関係式を用いることにする。その結果、数多くの洪水例からモデル定数 c_{11}, c_{12} 及び c_{13} の総合化が期待される。

この特定解析例においては、一次微係数を用いた一階ニュートン法と二次微係数を含むダビドン法でほぼ同等の結果が得られている。

ここでは、1 段タンク型貯留関数モデル定数 c_{11}, c_{12} 及び c_{13} を一階ニュートン法で同定した結果を、**図－1** 及び**表－3** に示す。

文責　東海林　勉

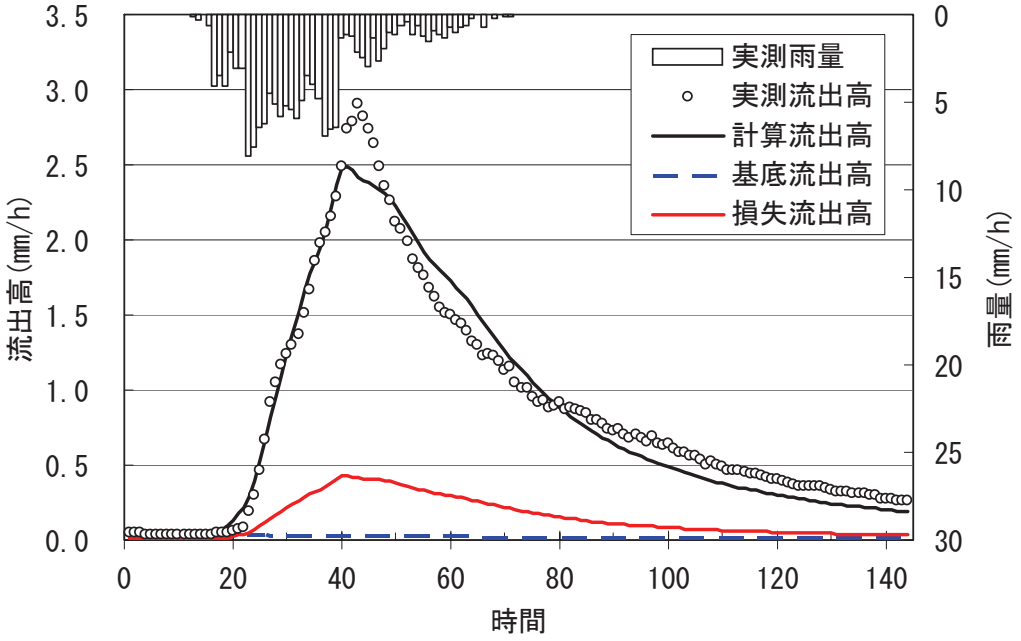
表－1　　1 段タンク型貯留関数法のパラメータ最適化

	[問題 1]	[問題 2]		[問題 3]
最適化手法	一階ニュートン法	一階ニュートン法	ダビドン法	一階ニュートン法
収束回数	6	6	7	6
k_{11}	56.620	56.623	56.629	56.618
k_{12}	119.195	120.299	119.097	120.278
c_{11}	—	11.376	11.377	11.375
c_{12}	—	0.049	0.049	0.049
c_{13}	1.171	1.171	1.171	1.171
RMSE (mm/h)	0.129	0.129	0.129	0.129
KAI2 (mm/h)	0.020	0.020	0.020	0.020
J_{pe}	0.142	0.142	0.142	0.142
J_{re}	0.185	0.185	0.185	0.185
E_w	0.086	0.086	0.086	0.086
E	0.002	0.002	0.002	0.002
E_v	0.025	0.025	0.025	0.025
E_p	0.142	0.142	0.142	0.142

減衰係数：$\lambda = 0.014$，計算時間間隔：$T = 1/10$

表－2　　最適化パラメータにおける観測値と計算値の比較

	[問題 1]	[問題 2]		[問題 3]
最適化手法	一階ニュートン法	一階ニュートン法	ダビドン法	一階ニュートン法
観測総流出高 (mm)	123.892	123.892	123.892	123.892
計算総流出高 (mm)	120.777	120.785	120.786	120.777
観測流量ピーク値 (m^3/s)	645.810	645.810	645.810	645.810
計算流量ピーク値 (m^3/s)	554.184	554.176	554.120	554.184



図－1　1 段タンク型貯留関数法(一階ニュートン法)による再現結果

(湧別川・丸瀬布　H13.9.11)

表−3　1 段タンク型貯留関数法(一階ニュートン法)による再現結果
湧別川水系　丸瀬布地点　(平成 13 年 9 月 11 日)

流域面積:　802.0 (km^2)　　平均雨量強度:　2.74 (mm/h)　　単位:(mm/h)

月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	計算流出高	基底流出高	損失流出高	月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	計算流出高	基底流出高	損失流出高
9	10	1	1	0.000	0.042	0.042	0.042	0.007	9	13	1	73	0.000	1.014	1.132	0.015	0.194
		2	2	0.000	0.042	0.042	0.041	0.007			2	74	0.000	1.007	1.090	0.015	0.187
		3	3	0.000	0.042	0.042	0.041	0.007			3	75	0.000	0.951	1.051	0.015	0.180
		4	4	0.000	0.041	0.042	0.040	0.007			4	76	0.000	0.911	1.014	0.015	0.174
		5	5	0.000	0.041	0.042	0.040	0.007			5	77	0.000	0.931	0.978	0.014	0.168
		6	6	0.000	0.041	0.042	0.039	0.007			6	78	0.000	0.884	0.944	0.014	0.162
		7	7	0.000	0.041	0.042	0.039	0.007			7	79	0.000	0.898	0.912	0.014	0.156
		8	8	0.000	0.041	0.042	0.038	0.007			8	80	0.000	0.911	0.881	0.014	0.151
		9	9	0.000	0.041	0.042	0.037	0.007			9	81	0.000	0.871	0.852	0.014	0.146
		10	10	0.000	0.041	0.042	0.037	0.007			10	82	0.000	0.884	0.824	0.013	0.141
		11	11	0.000	0.041	0.042	0.036	0.007			11	83	0.000	0.871	0.798	0.013	0.137
		12	12	0.000	0.041	0.041	0.036	0.007			12	84	0.000	0.852	0.772	0.013	0.132
		13	13	0.100	0.039	0.041	0.035	0.007			13	85	0.000	0.845	0.748	0.013	0.128
		14	14	0.340	0.039	0.042	0.035	0.007			14	86	0.000	0.801	0.725	0.013	0.124
		15	15	0.000	0.041	0.043	0.034	0.007			15	87	0.000	0.795	0.702	0.013	0.120
		16	16	0.650	0.041	0.044	0.034	0.008			16	88	0.000	0.770	0.681	0.012	0.117
		17	17	4.070	0.042	0.053	0.033	0.009			17	89	0.000	0.734	0.661	0.012	0.113
		18	18	3.450	0.044	0.071	0.033	0.012			18	90	0.000	0.728	0.641	0.012	0.110
		19	19	4.050	0.048	0.100	0.033	0.017			19	91	0.000	0.740	0.623	0.012	0.107
		20	20	2.120	0.056	0.135	0.032	0.023			20	92	0.000	0.704	0.605	0.012	0.104
		21	21	3.050	0.073	0.174	0.032	0.030			21	93	0.000	0.675	0.587	0.012	0.101
		22	22	3.090	0.085	0.219	0.031	0.037			22	94	0.000	0.698	0.571	0.011	0.098
		23	23	8.100	0.195	0.287	0.031	0.049			23	95	0.000	0.681	0.555	0.011	0.095
		24	24	7.510	0.300	0.394	0.030	0.067			24	96	0.000	0.652	0.540	0.011	0.092
9	11	1	25	6.380	0.459	0.526	0.030	0.090	9	14	1	97	0.000	0.687	0.525	0.011	0.090
		2	26	6.200	0.669	0.672	0.030	0.115			2	98	0.000	0.641	0.511	0.011	0.088
		3	27	4.500	0.912	0.817	0.029	0.140			3	99	0.000	0.635	0.498	0.011	0.085
		4	28	5.090	1.048	0.954	0.029	0.163			4	100	0.000	0.641	0.484	0.010	0.083
		5	29	5.770	1.163	1.094	0.028	0.187			5	101	0.000	0.602	0.472	0.010	0.081
		6	30	5.180	1.238	1.236	0.028	0.212			6	102	0.000	0.581	0.460	0.010	0.079
		7	31	5.380	1.292	1.375	0.028	0.236			7	103	0.000	0.586	0.448	0.010	0.077
		8	32	5.900	1.371	1.519	0.027	0.260			8	104	0.000	0.565	0.437	0.010	0.075
		9	33	4.860	1.511	1.659	0.027	0.284			9	105	0.000	0.560	0.426	0.010	0.073
		10	34	3.430	1.666	1.772	0.026	0.304			10	106	0.000	0.539	0.416	0.010	0.071
		11	35	4.000	1.857	1.863	0.026	0.319			11	107	0.000	0.499	0.405	0.010	0.069
		12	36	4.820	1.980	1.954	0.026	0.335			12	108	0.000	0.519	0.396	0.009	0.068
		13	37	6.890	2.048	2.072	0.025	0.355			13	109	0.000	0.499	0.386	0.009	0.066
		14	38	6.550	2.157	2.219	0.025	0.380			14	110	0.000	0.484	0.377	0.009	0.065
		15	39	6.390	2.290	2.375	0.025	0.407			15	111	0.000	0.470	0.368	0.009	0.063
		16	40	1.360	2.491	2.473	0.024	0.424			16	112	0.000	0.460	0.360	0.009	0.062
		17	41	1.100	2.734	2.488	0.024	0.426			17	113	0.000	0.460	0.351	0.009	0.060
		18	42	1.270	2.791	2.459	0.024	0.421			18	114	0.000	0.455	0.343	0.009	0.059
		19	43	2.160	2.899	2.422	0.023	0.415			19	115	0.000	0.441	0.336	0.008	0.058
		20	44	2.430	2.816	2.393	0.023	0.410			20	116	0.000	0.437	0.328	0.008	0.056
		21	45	3.000	2.735	2.378	0.023	0.407			21	117	0.000	0.427	0.321	0.008	0.055
		22	46	1.360	2.643	2.357	0.022	0.404			22	118	0.000	0.418	0.314	0.008	0.054
		23	47	2.700	2.486	2.333	0.022	0.400			23	119	0.000	0.405	0.307	0.008	0.053
		24	48	1.950	2.356	2.312	0.022	0.396			24	120	0.000	0.400	0.301	0.008	0.051
9	12	1	49	1.000	2.260	2.276	0.021	0.390	9	15	1	121	0.000	0.396	0.294	0.008	0.050
		2	50	1.160	2.125	2.227	0.021	0.381			2	122	0.000	0.383	0.288	0.008	0.049
		3	51	0.650	2.075	2.169	0.021	0.371			3	123	0.000	0.370	0.282	0.008	0.048
		4	52	0.360	1.985	2.100	0.021	0.360			4	124	0.000	0.362	0.276	0.007	0.047
		5	53	1.100	1.869	2.033	0.020	0.348			5	125	0.000	0.362	0.270	0.007	0.046
		6	54	0.650	1.812	1.971	0.020	0.338			6	126	0.000	0.353	0.265	0.007	0.045
		7	55	1.190	1.756	1.915	0.020	0.328			7	127	0.000	0.357	0.260	0.007	0.044
		8	56	1.550	1.682	1.871	0.019	0.320			8	128	0.000	0.353	0.254	0.007	0.044
		9	57	0.950	1.620	1.831	0.019	0.314			9	129	0.000	0.341	0.249	0.007	0.043
		10	58	1.160	1.549	1.792	0.019	0.307			10	130	0.000	0.330	0.244	0.007	0.042
		11	59	1.360	1.514	1.758	0.019	0.301			11	131	0.000	0.321	0.240	0.007	0.041
		12	60	0.680	1.497	1.721	0.018	0.295			12	132	0.000	0.321	0.235	0.007	0.040
		13	61	1.000	1.463	1.683	0.018	0.288			13	133	0.000	0.317	0.230	0.007	0.039
		14	62	0.710	1.446	1.644	0.018	0.282			14	134	0.000	0.309	0.226	0.007	0.039
		15	63	0.650	1.396	1.603	0.018	0.274			15	135	0.000	0.305	0.222	0.006	0.038
		16	64	0.160	1.323	1.557	0.017	0.267			16	136	0.000	0.305	0.218	0.006	0.037
		17	65	0.000	1.299	1.504	0.017	0.258			17	137	0.000	0.297	0.213	0.006	0.037
		18	66	0.710	1.228	1.455	0.017	0.249			18	138	0.000	0.294	0.210	0.006	0.036
		19	67	0.000	1.244	1.408	0.017	0.241			19	139	0.000	0.275	0.206	0.006	0.035
		20	68	0.200	1.221	1.359	0.016	0.233			20	140	0.000	0.268	0.202	0.006	0.035
		21	69	0.000	1.190	1.311	0.016	0.225			21	141	0.000	0.268	0.198	0.006	0.034
		22	70	0.100	1.130	1.264	0.016	0.216			22	142	0.000	0.264	0.195	0.006	0.033
		23	71	0.070	1.159	1.218	0.016	0.209			23	143	0.000	0.264	0.191	0.006	0.033
		24	72	0.000	1.049	1.174	0.016	0.201			24	144	0.000	0.257	0.188	0.006	0.032

第 10 回　流出解析ゼミ

― フィルター分離法を活用した 2 段タンク型貯留関数モデル ―

[問題 1]

次表には指定河川・標津(しべつ)川での観測所・合流点(流域面積；A= 657 ㎢)における 1998 年(平成 10 年)9 月 16 日～20 日に生起した洪水時の実測雨量と実測流量が示されている。次の設問に答えよ。

(1) 洪水ピーク流量をq_pとし、ピーク生起以降の時刻をtとして、半対数紙上に$\ln(q_1/q_2)$とtの関係をプロットせよ。勾配がもっともゆるやかなハイドログラフの低減部について、次式を用いて地下水流出成分の分離時定数T_cを計算せよ。

$$T_c=(t_2-t_1)/\ln(q_1/q_2)$$

(2) **「第 3 回ゼミ」**の**表－3** に示される湧別川・丸瀬布における平成 13 年 9 月の洪水資料(実測雨量と実測流量)を用いて、「2 段タンク型**線形**貯留関数モデル」の未知定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}の最適値を求めよ。ただし、減衰係数δ=2.1、分離時定数T_c=75.8(湧別川水系における既往 32 洪水例の平均値)とせよ。

同様に、標津川・合流点における「2 段タンク型**線形**貯留関数モデル」の未知定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}の最適値を求めよ。ただし、$\delta=2.1$とし、T_cは、設問(1)での値を用いよ。

なお、丸瀬布地点と標津川合流点のいずれについても、計算時間間隔はT=1/10、モデル定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}の初期値を、線形貯留関数モデルでは、c_{11}=2.0, c_{12}=0.15 及びc_{13}=2.50、非線形貯留関数モデルでは、c_{11}=10.0, c_{12}=0.15 及びc_{13}=1.50 とせよ。また、流入量qの入力値は時間平均を用いよ。すなわち、t時間目と$t+1$時間目の間では、$(q_t+q_{t+1})/2$の値を用いよ。

(3) 設問(2)と同じ定数を用いて、湧別川・丸瀬布地点と標津川・合流点の「2 段タンク型**非線形**貯留関数モデル」の未知定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}の最適値を求めよ。

(4) 設問(2)と(3)に関して、**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の指標値を求め、2 段タンク型**線形・非線形**貯留関数モデルの適合度を比較・検討せよ。

また、2 段タンク型**線形・非線形**貯留関数モデルによる最適化結果を実測ハイドログラフと計算ハイドログラフにて比較せよ。

[問題 2]

[問題 1]と同じ標津川での洪水資料を用いて、**「第 9 回ゼミ」**の**「損失項を含む貯留関数法(1 段タンク型貯留関数モデル)」**におけるモデル定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}の最適値をもとめよ。

1 段タンク型貯留関数モデル定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}を最適値探索にあたっては、次に示す 2 種の最適化手法により同定せよ。

(i)　一階ニュートン法

(ii)　ダビドン法

なお、計算時間間隔はT=1/10、モデル定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}の初期値をそれぞれ、c_{11}=10.0, c_{12}=0.15 及びc_{13}=1.50 とせよ。また、減衰係数λの値として、**[問題 1]**で求めたT_cの逆数の値を採用せよ。

[問題 3]

「第 5 回ゼミ」の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の指標について、湧別川・

丸瀬布地点と標津川・合流点における**「損失項を含む貯留関数法**(1 段タンク型貯留関数モデル)」と「2 段タンク型**非線形**貯留関数モデル」による最適化結果を比較・検討せよ。また、実測ハイドログラフと計算ハイドログラフを比較し、どちらのモデルの再現性が高いかを検証せよ。なお、最適値探索に、一階のニュートン法を用いたものを比較せよ。

[問題 4]

標津川での洪水資料を用いて、今回のゼミの**「4. 地下水流出成分計算における浸透供給量の取り扱い」**で説明した浸透供給量b が**既知量**の場合と**未知量**の場合に関して、表面・中間流出量、地下水流出量、全流出量を計算し、その差異を比較せよ。なお、計算時間間隔はT =1/10、モデル定数c_{11} , c_{12} 及びc_{13} の値をそれぞれ、c_{11} =11.41, c_{12} =0.25 及びc_{13} = 2.76 とせよ。また、T_c =110.42、δ =2.1、初期流出高は 0.1482(mm/h)を用いよ。

表－1　　標津川合流地点　解析洪水資料(平成 10 年)

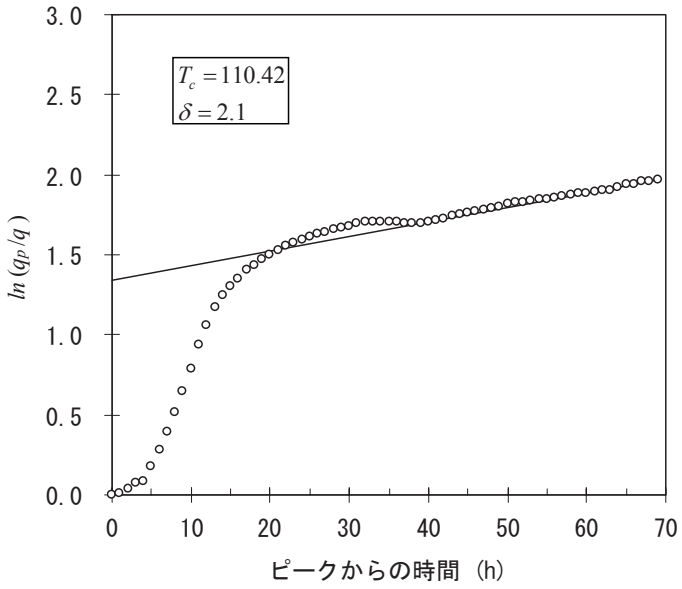
月	日	時	雨量 mm/h	実績流量 m^3/s
9	16	1	0.00	27.04
		2	0.00	27.04
		3	0.22	27.04
		4	0.26	26.30
		5	0.22	26.30
		6	0.00	26.30
		7	0.91	26.30
		8	2.40	27.04
		9	2.09	27.04
		10	3.27	27.79
		11	5.07	29.31
		12	5.85	30.87
		13	6.24	33.29
		14	11.85	42.02
		15	9.66	59.18
		16	17.32	88.46
		17	14.29	118.71
		18	18.86	161.58
		19	16.98	212.40
		20	15.66	268.62
		21	8.44	326.38
		22	1.41	384.26
		23	0.31	454.77
9	17	0	0.00	478.91
		1	0.00	501.59
		2	0.00	516.30
		3	0.00	516.30
		4	0.00	509.97
		5	0.00	495.35
		6	0.00	478.91
		7	0.00	472.82
		8	0.00	431.25
9	17	9	0.00	387.92
		10	0.00	346.88
		11	0.00	308.14
		12	0.00	270.15
		13	0.00	234.67
		14	0.00	201.68
		15	0.00	178.58
		16	0.00	160.40
		17	0.00	148.82
		18	0.00	139.87
		19	0.00	133.34
		20	0.00	126.97
		21	0.00	122.80
		22	0.00	118.71
		23	0.00	114.69
9	18	0	0.00	111.71
		1	0.00	108.78
		2	0.00	106.85
		3	0.00	104.93
		4	0.00	103.03
		5	0.00	101.15
		6	0.00	100.22
		7	0.00	98.36
		8	0.00	97.44
		9	0.00	96.52
		10	0.00	94.70
		11	0.00	93.80
		12	0.00	93.80
		13	0.00	93.80
		14	0.00	93.80
		15	0.00	93.80
		16	0.00	94.70
9	18	17	0.00	94.70
		18	0.00	94.70
		19	0.00	93.80
		20	0.00	92.90
		21	0.00	92.00
		22	0.00	90.22
		23	0.00	89.34
9	19	0	0.00	88.46
		1	0.00	87.59
		2	0.00	86.72
		3	0.00	85.85
		4	0.00	84.99
		5	0.00	84.14
		6	0.00	83.29
		7	0.00	83.29
		8	0.00	82.44
		9	0.00	81.59
		10	0.00	81.59
		11	0.00	80.76
		12	0.00	79.92
		13	0.00	79.09
		14	0.00	78.26
		15	0.00	78.26
		16	0.00	77.44
		17	0.00	76.76
		18	0.00	76.76
		19	0.00	75.52
		20	0.00	74.29
		21	0.00	74.29
		22	0.00	73.07
		23	0.00	73.07
9	20	0	0.00	71.85

[解答 1]

(1)　**表−2** と**図−1** に、洪水ピーク流量q_pの生起以降の時刻をtと$\ln(q_1/q_2)$の関係及び分離時定数T_cを示す。

表−2　　分離時定数T_c の決定　(標津川合流地点(平成 10 年))

月	日	時	雨量	実績流量	ピークからの時間	$ln(q_p/q)$
			mm/h	m^3/s	h	
9	16	1	0.00	27.04		
		2	0.00	27.04		
		3	0.22	27.04		
		4	0.26	26.30		
		5	0.22	26.30		
		6	0.00	26.30		
		7	0.91	26.30		
		8	2.40	27.04		
		9	2.09	27.04		
		10	3.27	27.79		
		11	5.07	29.31		
		12	5.85	30.87		
		13	6.24	33.29		
		14	11.85	42.02		
		15	9.66	59.18		
		16	17.32	88.46		
		17	14.29	118.71		
		18	18.86	161.58		
		19	16.98	212.40		
		20	15.66	268.62		
		21	8.44	326.38		
		22	1.41	384.26		
		23	0.31	454.77		
9	17	0	0.00	478.91		
		1	0.00	501.59		
		2	0.00	516.30		
		3	0.00	516.30	0	0.00
		4	0.00	509.97	1	0.01
		5	0.00	495.35	2	0.04
		6	0.00	478.91	3	0.08
		7	0.00	472.82	4	0.09
		8	0.00	431.25	5	0.18
		9	0.00	387.92	6	0.29
		10	0.00	346.88	7	0.40
		11	0.00	308.14	8	0.52
		12	0.00	270.15	9	0.65
		13	0.00	234.67	10	0.79
		14	0.00	201.68	11	0.94
		15	0.00	178.58	12	1.06
		16	0.00	160.40	13	1.17
		17	0.00	148.82	14	1.24
		18	0.00	139.87	15	1.31
		19	0.00	133.34	16	1.35
		20	0.00	126.97	17	1.40
		21	0.00	122.80	18	1.44
		22	0.00	118.71	19	1.47
		23	0.00	114.69	20	1.50
9	18	0	0.00	111.71	21	1.53
9	18	1	0.00	108.78	22	1.56
		2	0.00	106.85	23	1.58
		3	0.00	104.93	24	1.59
		4	0.00	103.03	25	1.61
		5	0.00	101.15	26	1.63
		6	0.00	100.22	27	1.64
		7	0.00	98.36	28	1.66
		8	0.00	97.44	29	1.67
		9	0.00	96.52	30	1.68
		10	0.00	94.70	31	1.70
		11	0.00	93.80	32	1.71
		12	0.00	93.80	33	1.71
		13	0.00	93.80	34	1.71
		14	0.00	93.80	35	1.71
		15	0.00	93.80	36	1.71
		16	0.00	94.70	37	1.70
		17	0.00	94.70	38	1.70
		18	0.00	94.70	39	1.70
		19	0.00	93.80	40	1.71
		20	0.00	92.90	41	1.72
		21	0.00	92.00	42	1.72
		22	0.00	90.22	43	1.74
		23	0.00	89.34	44	1.75
9	19	0	0.00	88.46	45	1.76
		1	0.00	87.59	46	1.77
		2	0.00	86.72	47	1.78
		3	0.00	85.85	48	1.79
		4	0.00	84.99	49	1.80
		5	0.00	84.14	50	1.81
		6	0.00	83.29	51	1.82
		7	0.00	83.29	52	1.82
		8	0.00	82.44	53	1.83
		9	0.00	81.59	54	1.84
		10	0.00	81.59	55	1.84
		11	0.00	80.76	56	1.86
		12	0.00	79.92	57	1.87
		13	0.00	79.09	58	1.88
		14	0.00	78.26	59	1.89
		15	0.00	78.26	60	1.89
		16	0.00	77.44	61	1.90
		17	0.00	76.76	62	1.91
		18	0.00	76.76	63	1.91
		19	0.00	75.52	64	1.92
		20	0.00	74.29	65	1.94
		21	0.00	74.29	66	1.94
		22	0.00	73.07	67	1.96
		23	0.00	73.07	68	1.96
9	20	0	0.00	71.85	69	1.97



$$T_c = \frac{60-40}{\ln(93.80/78.26)} = 110.42$$

$$\delta = 2.1$$

$$c_0 = (\delta / T_c)^2 = 0.000362$$

$$c_1 = \delta^2 / T_c = 0.0399$$

図－1　　分離時定数T_cの決定

[解答 1]

(2)～(4)

以下に、未知定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}の最適値を求める手順を示す。

a) フィルター成分分離法による地下水流出成分の算定

まず、式(10.2)よりc_0とc_1を求める（ただし、δ=2. 1）。次に、式(10.3)によって全流出量から地下水流出成分を計算する。

日野・長谷部は地下水流出成分が全流出量より大きくなることを防ぐために、地下水流出成分に 1 に近い重み係数αをかけて表面・中間流出成分を計算するとしている。本解答では、重み係数αはすべて、α=1 として分離を行い、地下水流出が全流出量を越えるときは、地下水流出成分は全流出量に等しいとした。表面・中間流出成分は、全流出qから地下水流出成分q_2を引くことで求められる。

b) 1 段目タンクの解析

表面・中間流出成分の解析については、線形貯留関数モデルでは式(10.7)、非線形貯留関数モデルでは式(10.19)を用い、a) で分離した表面・中間流出成分の流量と流域平均雨量を入力し、パラメータの最適化計算を行う。湧別川・丸瀬布における、最適パラメータによる表面・中間流出成分の再現結果を**図－2**（標津川・合流点での再現結果は**図－5**）に示す。

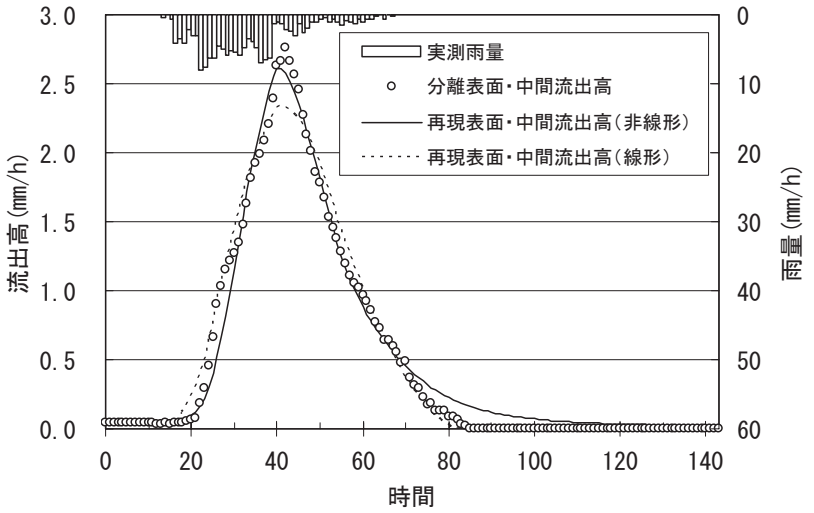
c) 2 段目タンクのパラメータの算出

地下水流出成分については、式(10.30)の線形貯留関数モデルにより再現を行う。b) で求めた浸透に関するパラメータk_{13}と a) で求めたc_0とc_1を用いて、式(10.38)より地下水流出成分パラメータk_{21}とk_{22}を算出する。この地下水流出成分パラメータを式(10.41)に用いて、地下水流出成分を再現する。その際に、1 段目タンクにおける解析で得られた損失成分bを浸透供給量として用いる。湧別川・丸瀬布における再現結果を**図－3**（標津川・合流点での再現結果は**図－6**）に示す。

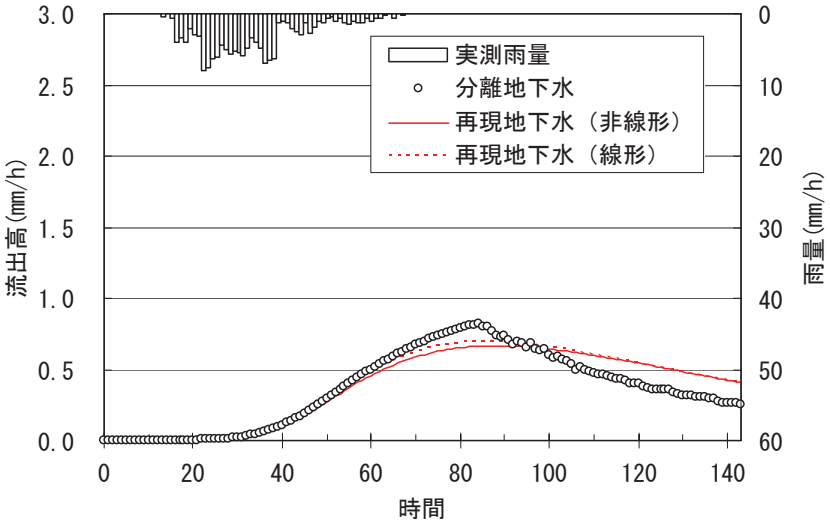
d) 全流出量の算出

式(10.42)により、b) で再現した表面・中間流出成分と c) で再現した地下水流出成分を合計して全流出量を算出する。湧別川・丸瀬布における再現結果を**図－4** 及び**表－2**（標津川・合流点での再現結果は**図－7** 及び**表－3**）に示す。

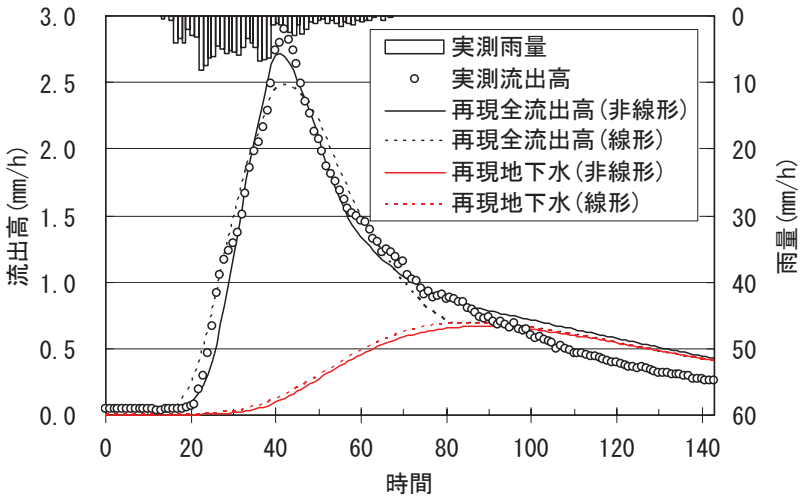
また、湧別川・丸瀬布における線形貯留関数モデル及び非線形貯留関数モデルによる再現結果をそれぞれ**表－2** 及び**表－3**（標津川・合流点での再現結果は**表－4** 及び**表－5**）に示す。



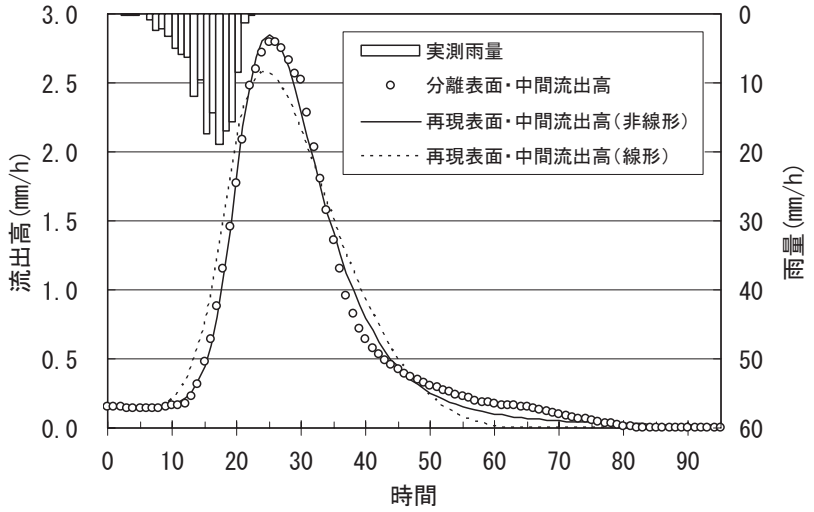
図－2　2 段タンク型貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による表面・中間流出高再現結果
線形・非線形モデルの比較（湧別川・丸瀬布　H13.9.11）



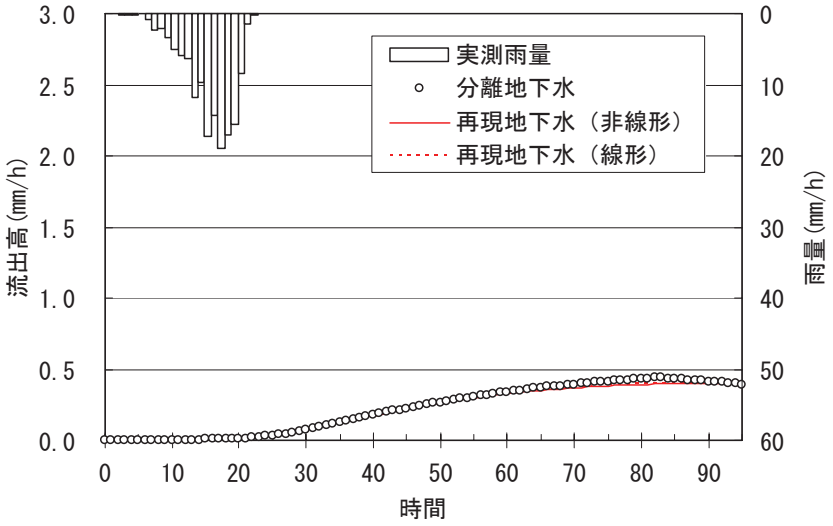
図－3　2 段タンク型貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による地下水流出高再現結果
線形・非線形モデルの比較（湧別川・丸瀬布　H13.9.11）



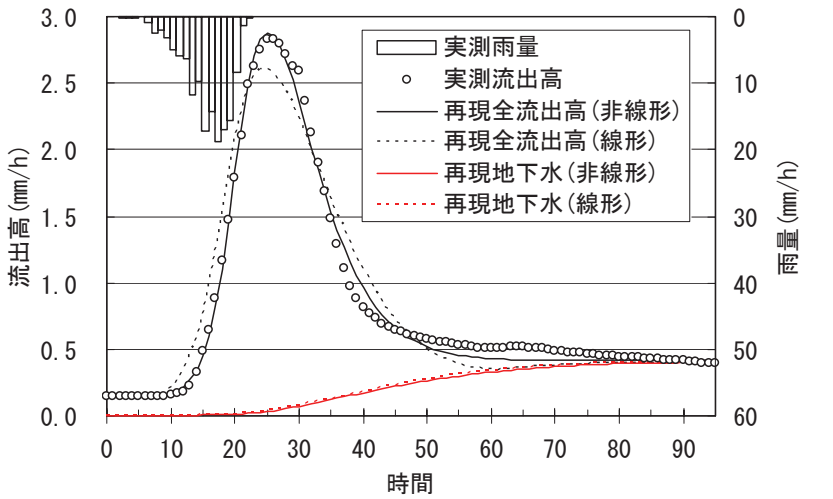
図－4　2 段タンク型貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による全流出高再現結果
線形・非線形モデルの比較（湧別川・丸瀬布　H13.9.11）



図－5　2 段タンク型貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による表面・中間流出高再現結果
線形・非線形モデルの比較（標津川・合流点　H10.9.16）



図－6　2 段タンク型貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による地下水流出高再現結果
線形・非線形モデルの比較（標津川・合流点　H10.9.16）



図－7　2 段タンク型貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による全流出高再現結果
線形・非線形モデルの比較（標津川・合流点　H10.9.16）

表−2　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型線形貯留関数モデル (1 階ニュートン法)による再現計算結果(1)　(湧別川・丸瀬布　H13. 9. 11)

流域面積:　802.0 (km^2)　　平均雨量強度:　2.74 (mm/h)　　単位:(mm/h)

月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	10	1	1	0.000	0.042	0.000	0.042	0.042	0.047	0.000	0.042
		2	2	0.000	0.042	0.000	0.042	0.041	0.046	0.000	0.041
		3	3	0.000	0.042	0.000	0.042	0.040	0.045	0.000	0.040
		4	4	0.000	0.041	0.000	0.041	0.039	0.043	0.000	0.039
		5	5	0.000	0.041	0.000	0.040	0.037	0.041	0.000	0.037
		6	6	0.000	0.041	0.001	0.040	0.035	0.039	0.001	0.036
		7	7	0.000	0.041	0.001	0.040	0.033	0.037	0.001	0.034
		8	8	0.000	0.041	0.001	0.040	0.031	0.035	0.001	0.032
		9	9	0.000	0.041	0.001	0.040	0.029	0.032	0.001	0.030
		10	10	0.000	0.041	0.001	0.040	0.027	0.030	0.001	0.028
		11	11	0.000	0.041	0.002	0.039	0.024	0.027	0.001	0.026
		12	12	0.000	0.041	0.002	0.039	0.022	0.025	0.002	0.024
		13	13	0.100	0.039	0.002	0.037	0.020	0.023	0.002	0.022
		14	14	0.340	0.039	0.002	0.037	0.020	0.022	0.002	0.022
		15	15	0.000	0.041	0.003	0.038	0.020	0.022	0.002	0.022
		16	16	0.650	0.041	0.003	0.038	0.021	0.024	0.003	0.024
		17	17	4.070	0.042	0.003	0.039	0.036	0.040	0.003	0.039
		18	18	3.450	0.044	0.004	0.040	0.069	0.076	0.003	0.072
		19	19	4.050	0.048	0.004	0.044	0.117	0.130	0.003	0.120
		20	20	2.120	0.056	0.004	0.052	0.174	0.194	0.004	0.178
		21	21	3.050	0.073	0.005	0.068	0.236	0.262	0.004	0.240
		22	22	3.090	0.085	0.005	0.080	0.303	0.337	0.005	0.308
		23	23	8.100	0.195	0.006	0.190	0.389	0.433	0.005	0.395
		24	24	7.510	0.300	0.006	0.294	0.502	0.558	0.006	0.509
9	11	1	25	6.380	0.460	0.007	0.453	0.632	0.702	0.008	0.640
		2	26	6.200	0.670	0.008	0.662	0.771	0.857	0.010	0.781
		3	27	4.500	0.912	0.009	0.903	0.912	1.014	0.012	0.924
		4	28	5.090	1.048	0.011	1.036	1.049	1.167	0.014	1.064
		5	29	5.770	1.163	0.014	1.149	1.186	1.318	0.018	1.204
		6	30	5.180	1.238	0.017	1.221	1.320	1.467	0.022	1.342
		7	31	5.380	1.292	0.022	1.270	1.450	1.612	0.027	1.476
		8	32	5.900	1.371	0.026	1.345	1.576	1.752	0.032	1.608
		9	33	4.860	1.511	0.032	1.479	1.696	1.886	0.038	1.735
		10	34	3.430	1.666	0.038	1.628	1.803	2.004	0.046	1.849
		11	35	4.000	1.857	0.045	1.811	1.895	2.106	0.054	1.949
		12	36	4.820	1.980	0.053	1.926	1.976	2.197	0.063	2.039
		13	37	6.890	2.048	0.062	1.985	2.056	2.286	0.073	2.129
		14	38	6.550	2.157	0.072	2.085	2.138	2.377	0.084	2.222
		15	39	6.390	2.290	0.083	2.206	2.220	2.468	0.096	2.316
		16	40	1.360	2.491	0.095	2.395	2.286	2.541	0.108	2.394
		17	41	1.100	2.734	0.109	2.626	2.323	2.582	0.122	2.445
		18	42	1.270	2.791	0.123	2.668	2.334	2.594	0.137	2.470
		19	43	2.160	2.899	0.138	2.761	2.326	2.586	0.152	2.478
		20	44	2.430	2.816	0.155	2.661	2.305	2.562	0.168	2.473
		21	45	3.000	2.735	0.173	2.562	2.275	2.528	0.185	2.459
		22	46	1.360	2.643	0.191	2.452	2.234	2.483	0.202	2.436
		23	47	2.700	2.486	0.211	2.276	2.184	2.428	0.220	2.404
		24	48	1.950	2.356	0.231	2.125	2.128	2.366	0.239	2.367
9	12	1	49	1.000	2.260	0.251	2.009	2.063	2.294	0.258	2.321
		2	50	1.160	2.125	0.272	1.854	1.989	2.211	0.277	2.266
		3	51	0.650	2.075	0.293	1.782	1.907	2.120	0.296	2.203
		4	52	0.360	1.985	0.314	1.671	1.817	2.020	0.316	2.132
		5	53	1.100	1.869	0.335	1.533	1.722	1.914	0.335	2.057
		6	54	0.650	1.812	0.356	1.455	1.624	1.806	0.355	1.979
		7	55	1.190	1.756	0.377	1.378	1.526	1.697	0.374	1.900
		8	56	1.550	1.682	0.398	1.284	1.431	1.591	0.393	1.824
		9	57	0.950	1.620	0.419	1.201	1.340	1.489	0.412	1.752
		10	58	1.160	1.549	0.439	1.110	1.251	1.390	0.430	1.681
		11	59	1.360	1.515	0.460	1.055	1.166	1.297	0.449	1.615
		12	60	0.680	1.497	0.479	1.018	1.085	1.207	0.466	1.552
		13	61	1.000	1.463	0.499	0.965	1.008	1.120	0.483	1.491
		14	62	0.710	1.446	0.518	0.929	0.933	1.038	0.500	1.433
		15	63	0.650	1.396	0.536	0.860	0.862	0.958	0.516	1.378
		16	64	0.160	1.323	0.555	0.768	0.793	0.881	0.532	1.324
		17	65	0.000	1.299	0.572	0.727	0.724	0.805	0.546	1.270
		18	66	0.710	1.228	0.590	0.639	0.658	0.732	0.561	1.219
		19	67	0.000	1.244	0.607	0.637	0.596	0.662	0.574	1.170
		20	68	0.200	1.221	0.623	0.598	0.535	0.595	0.587	1.122
		21	69	0.000	1.190	0.639	0.551	0.477	0.531	0.599	1.076
		22	70	0.100	1.130	0.654	0.476	0.422	0.469	0.610	1.032
		23	71	0.070	1.160	0.669	0.491	0.370	0.411	0.621	0.991
		24	72	0.000	1.049	0.683	0.366	0.321	0.357	0.631	0.952

表−2　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型線形貯留関数モデル (1 階ニュートン法)による再現計算結果(2)　(湧別川・丸瀬布　H13. 9. 11)

流域面積:　802.0 (km^2)　　平均雨量強度:　2.74 (mm/h)　　単位:(mm/h)

月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	13	1	73	0.000	1.014	0.697	0.317	0.275	0.305	0.640	0.915
		2	74	0.000	1.007	0.711	0.296	0.232	0.257	0.648	0.880
		3	75	0.000	0.951	0.723	0.228	0.192	0.213	0.656	0.848
		4	76	0.000	0.911	0.736	0.175	0.155	0.172	0.663	0.818
		5	77	0.000	0.931	0.747	0.184	0.122	0.135	0.669	0.791
		6	78	0.000	0.885	0.758	0.126	0.091	0.101	0.675	0.766
		7	79	0.000	0.898	0.769	0.129	0.064	0.071	0.679	0.743
		8	80	0.000	0.911	0.779	0.132	0.040	0.044	0.683	0.723
		9	81	0.000	0.871	0.789	0.083	0.018	0.020	0.687	0.705
		10	82	0.000	0.885	0.798	0.087	0.000	0.000	0.690	0.690
		11	83	0.000	0.871	0.807	0.065	0.000	0.000	0.692	0.692
		12	84	0.000	0.852	0.815	0.037	0.000	0.000	0.694	0.694
		13	85	0.000	0.846	0.823	0.023	0.000	0.000	0.695	0.695
		14	86	0.000	0.801	0.801	0.000	0.000	0.000	0.695	0.695
		15	87	0.000	0.795	0.795	0.000	0.000	0.000	0.695	0.695
		16	88	0.000	0.770	0.770	0.000	0.000	0.000	0.695	0.695
		17	89	0.000	0.734	0.734	0.000	0.000	0.000	0.694	0.694
		18	90	0.000	0.728	0.728	0.000	0.000	0.000	0.693	0.693
		19	91	0.000	0.740	0.740	0.000	0.000	0.000	0.691	0.691
		20	92	0.000	0.704	0.704	0.000	0.000	0.000	0.689	0.689
		21	93	0.000	0.675	0.675	0.000	0.000	0.000	0.686	0.686
		22	94	0.000	0.698	0.698	0.000	0.000	0.000	0.684	0.684
		23	95	0.000	0.681	0.681	0.000	0.000	0.000	0.681	0.681
		24	96	0.000	0.652	0.652	0.000	0.000	0.000	0.677	0.677
9	14	1	97	0.000	0.687	0.687	0.000	0.000	0.000	0.674	0.674
		2	98	0.000	0.641	0.641	0.000	0.000	0.000	0.670	0.670
		3	99	0.000	0.635	0.635	0.000	0.000	0.000	0.666	0.666
		4	100	0.000	0.641	0.641	0.000	0.000	0.000	0.662	0.662
		5	101	0.000	0.602	0.602	0.000	0.000	0.000	0.657	0.657
		6	102	0.000	0.581	0.581	0.000	0.000	0.000	0.653	0.653
		7	103	0.000	0.586	0.586	0.000	0.000	0.000	0.648	0.648
		8	104	0.000	0.565	0.565	0.000	0.000	0.000	0.643	0.643
		9	105	0.000	0.560	0.560	0.000	0.000	0.000	0.638	0.638
		10	106	0.000	0.539	0.539	0.000	0.000	0.000	0.632	0.632
		11	107	0.000	0.499	0.499	0.000	0.000	0.000	0.627	0.627
		12	108	0.000	0.519	0.519	0.000	0.000	0.000	0.621	0.621
		13	109	0.000	0.499	0.499	0.000	0.000	0.000	0.616	0.616
		14	110	0.000	0.484	0.484	0.000	0.000	0.000	0.610	0.610
		15	111	0.000	0.470	0.470	0.000	0.000	0.000	0.604	0.604
		16	112	0.000	0.460	0.460	0.000	0.000	0.000	0.598	0.598
		17	113	0.000	0.460	0.460	0.000	0.000	0.000	0.592	0.592
		18	114	0.000	0.455	0.455	0.000	0.000	0.000	0.586	0.586
		19	115	0.000	0.441	0.441	0.000	0.000	0.000	0.580	0.580
		20	116	0.000	0.437	0.437	0.000	0.000	0.000	0.574	0.574
		21	117	0.000	0.427	0.427	0.000	0.000	0.000	0.568	0.568
		22	118	0.000	0.418	0.418	0.000	0.000	0.000	0.562	0.562
		23	119	0.000	0.405	0.405	0.000	0.000	0.000	0.556	0.556
		24	120	0.000	0.400	0.400	0.000	0.000	0.000	0.549	0.549
9	15	1	121	0.000	0.396	0.396	0.000	0.000	0.000	0.543	0.543
		2	122	0.000	0.383	0.383	0.000	0.000	0.000	0.537	0.537
		3	123	0.000	0.370	0.370	0.000	0.000	0.000	0.530	0.530
		4	124	0.000	0.362	0.362	0.000	0.000	0.000	0.524	0.524
		5	125	0.000	0.362	0.362	0.000	0.000	0.000	0.518	0.518
		6	126	0.000	0.353	0.353	0.000	0.000	0.000	0.512	0.512
		7	127	0.000	0.357	0.357	0.000	0.000	0.000	0.505	0.505
		8	128	0.000	0.353	0.353	0.000	0.000	0.000	0.499	0.499
		9	129	0.000	0.341	0.341	0.000	0.000	0.000	0.493	0.493
		10	130	0.000	0.330	0.330	0.000	0.000	0.000	0.487	0.487
		11	131	0.000	0.321	0.321	0.000	0.000	0.000	0.481	0.481
		12	132	0.000	0.321	0.321	0.000	0.000	0.000	0.474	0.474
		13	133	0.000	0.317	0.317	0.000	0.000	0.000	0.468	0.468
		14	134	0.000	0.309	0.309	0.000	0.000	0.000	0.462	0.462
		15	135	0.000	0.305	0.305	0.000	0.000	0.000	0.456	0.456
		16	136	0.000	0.305	0.305	0.000	0.000	0.000	0.450	0.450
		17	137	0.000	0.298	0.298	0.000	0.000	0.000	0.444	0.444
		18	138	0.000	0.294	0.294	0.000	0.000	0.000	0.438	0.438
		19	139	0.000	0.275	0.275	0.000	0.000	0.000	0.432	0.432
		20	140	0.000	0.268	0.268	0.000	0.000	0.000	0.427	0.427
		21	141	0.000	0.268	0.268	0.000	0.000	0.000	0.421	0.421
		22	142	0.000	0.264	0.264	0.000	0.000	0.000	0.415	0.415
		23	143	0.000	0.264	0.264	0.000	0.000	0.000	0.409	0.409
		24	144	0.000	0.257	0.257	0.000	0.000	0.000	0.404	0.404

表−3　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型非線形貯留関数モデル (1 階ニュートン法)による再現計算結果(1)　(湧別川・丸瀬布　H13. 9. 11)

流域面積:　802.0 (km^2)　　平均雨量強度:　2.74 (mm/h)　　単位:(mm/h)

月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	10	1	1	0.000	0.042	0.000	0.042	0.042	0.044	0.000	0.042
		2	2	0.000	0.042	0.000	0.042	0.042	0.044	0.000	0.042
		3	3	0.000	0.042	0.000	0.042	0.042	0.043	0.000	0.042
		4	4	0.000	0.041	0.000	0.041	0.042	0.043	0.000	0.042
		5	5	0.000	0.041	0.000	0.040	0.041	0.043	0.000	0.042
		6	6	0.000	0.041	0.001	0.040	0.041	0.042	0.001	0.041
		7	7	0.000	0.041	0.001	0.040	0.040	0.042	0.001	0.041
		8	8	0.000	0.041	0.001	0.040	0.040	0.041	0.001	0.041
		9	9	0.000	0.041	0.001	0.040	0.039	0.041	0.001	0.040
		10	10	0.000	0.041	0.001	0.040	0.039	0.040	0.001	0.040
		11	11	0.000	0.041	0.002	0.039	0.038	0.039	0.002	0.040
		12	12	0.000	0.041	0.002	0.039	0.037	0.039	0.002	0.039
		13	13	0.100	0.039	0.002	0.037	0.037	0.038	0.002	0.039
		14	14	0.340	0.039	0.002	0.037	0.036	0.038	0.002	0.039
		15	15	0.000	0.041	0.003	0.038	0.036	0.037	0.003	0.039
		16	16	0.650	0.041	0.003	0.038	0.036	0.037	0.003	0.039
		17	17	4.070	0.042	0.003	0.039	0.039	0.040	0.003	0.042
		18	18	3.450	0.044	0.004	0.040	0.046	0.047	0.004	0.049
		19	19	4.050	0.048	0.004	0.044	0.057	0.059	0.004	0.061
		20	20	2.120	0.056	0.004	0.052	0.073	0.076	0.004	0.078
		21	21	3.050	0.073	0.005	0.068	0.094	0.097	0.005	0.099
		22	22	3.090	0.085	0.005	0.080	0.120	0.125	0.005	0.125
		23	23	8.100	0.195	0.006	0.190	0.159	0.165	0.006	0.165
		24	24	7.510	0.300	0.006	0.294	0.218	0.226	0.006	0.224
9	11	1	25	6.380	0.460	0.007	0.453	0.300	0.310	0.007	0.306
		2	26	6.200	0.670	0.008	0.662	0.403	0.417	0.008	0.411
		3	27	4.500	0.912	0.009	0.903	0.526	0.544	0.009	0.535
		4	28	5.090	1.048	0.011	1.036	0.664	0.687	0.010	0.674
		5	29	5.770	1.163	0.014	1.149	0.819	0.848	0.012	0.831
		6	30	5.180	1.238	0.017	1.221	0.988	1.023	0.014	1.002
		7	31	5.380	1.292	0.022	1.270	1.167	1.208	0.017	1.184
		8	32	5.900	1.371	0.026	1.345	1.354	1.402	0.021	1.375
		9	33	4.860	1.511	0.032	1.479	1.544	1.599	0.025	1.570
		10	34	3.430	1.666	0.038	1.628	1.722	1.783	0.031	1.753
		11	35	4.000	1.857	0.045	1.811	1.881	1.947	0.037	1.918
		12	36	4.820	1.980	0.053	1.926	2.025	2.096	0.044	2.069
		13	37	6.890	2.048	0.062	1.985	2.166	2.242	0.052	2.218
		14	38	6.550	2.157	0.072	2.085	2.309	2.391	0.062	2.371
		15	39	6.390	2.290	0.083	2.206	2.450	2.536	0.072	2.522
		16	40	1.360	2.491	0.095	2.395	2.558	2.648	0.084	2.642
		17	41	1.100	2.734	0.109	2.626	2.609	2.701	0.097	2.706
		18	42	1.270	2.791	0.123	2.668	2.608	2.700	0.111	2.719
		19	43	2.160	2.899	0.138	2.761	2.572	2.662	0.126	2.698
		20	44	2.430	2.816	0.155	2.661	2.512	2.600	0.142	2.654
		21	45	3.000	2.735	0.173	2.562	2.439	2.525	0.159	2.598
		22	46	1.360	2.643	0.191	2.452	2.352	2.434	0.177	2.528
		23	47	2.700	2.486	0.211	2.276	2.254	2.334	0.195	2.449
		24	48	1.950	2.356	0.231	2.125	2.154	2.230	0.214	2.368
9	12	1	49	1.000	2.260	0.251	2.009	2.046	2.118	0.233	2.279
		2	50	1.160	2.125	0.272	1.854	1.930	1.998	0.253	2.183
		3	51	0.650	2.075	0.293	1.782	1.811	1.875	0.272	2.083
		4	52	0.360	1.985	0.314	1.671	1.688	1.748	0.292	1.980
		5	53	1.100	1.869	0.335	1.533	1.567	1.623	0.312	1.879
		6	54	0.650	1.812	0.356	1.455	1.452	1.503	0.331	1.783
		7	55	1.190	1.756	0.377	1.378	1.344	1.391	0.350	1.695
		8	56	1.550	1.682	0.398	1.284	1.247	1.291	0.369	1.616
		9	57	0.950	1.620	0.419	1.201	1.159	1.200	0.388	1.547
		10	58	1.160	1.549	0.439	1.110	1.079	1.118	0.406	1.485
		11	59	1.360	1.515	0.460	1.055	1.008	1.044	0.423	1.432
		12	60	0.680	1.497	0.479	1.018	0.944	0.977	0.440	1.384
		13	61	1.000	1.463	0.499	0.965	0.884	0.916	0.457	1.341
		14	62	0.710	1.446	0.518	0.929	0.830	0.859	0.473	1.303
		15	63	0.650	1.396	0.536	0.860	0.780	0.807	0.488	1.268
		16	64	0.160	1.323	0.555	0.768	0.732	0.758	0.502	1.235
		17	65	0.000	1.299	0.572	0.727	0.685	0.709	0.516	1.202
		18	66	0.710	1.228	0.590	0.639	0.641	0.664	0.530	1.171
		19	67	0.000	1.244	0.607	0.637	0.601	0.622	0.542	1.143
		20	68	0.200	1.221	0.623	0.598	0.562	0.581	0.554	1.116
		21	69	0.000	1.190	0.639	0.551	0.524	0.543	0.566	1.090
		22	70	0.100	1.130	0.654	0.476	0.489	0.507	0.576	1.066
		23	71	0.070	1.160	0.669	0.491	0.456	0.472	0.586	1.043
		24	72	0.000	1.049	0.683	0.366	0.425	0.440	0.596	1.021

表−3　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型非線形貯留関数モデル (1 階ニュートン法)による再現計算結果(2)　(湧別川・丸瀬布　H13. 9. 11)

流域面積: 802.0 (km^2)						平均雨量強度: 2.74 (mm/h)					単位:(mm/h)
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	13	1	73	0.000	1.014	0.697	0.317	0.396	0.410	0.604	1.001
		2	74	0.000	1.007	0.711	0.296	0.369	0.382	0.613	0.981
		3	75	0.000	0.951	0.723	0.228	0.343	0.355	0.620	0.963
		4	76	0.000	0.911	0.736	0.175	0.320	0.331	0.627	0.947
		5	77	0.000	0.931	0.747	0.184	0.298	0.308	0.633	0.931
		6	78	0.000	0.885	0.758	0.126	0.277	0.287	0.639	0.916
		7	79	0.000	0.898	0.769	0.129	0.258	0.268	0.644	0.902
		8	80	0.000	0.911	0.779	0.132	0.241	0.250	0.649	0.890
		9	81	0.000	0.871	0.789	0.083	0.225	0.233	0.653	0.877
		10	82	0.000	0.885	0.798	0.087	0.210	0.218	0.656	0.866
		11	83	0.000	0.871	0.807	0.065	0.196	0.203	0.659	0.855
		12	84	0.000	0.852	0.815	0.037	0.184	0.190	0.661	0.845
		13	85	0.000	0.846	0.823	0.023	0.172	0.178	0.663	0.836
		14	86	0.000	0.801	0.801	0.000	0.162	0.167	0.665	0.827
		15	87	0.000	0.795	0.795	0.000	0.152	0.157	0.666	0.818
		16	88	0.000	0.770	0.770	0.000	0.143	0.148	0.667	0.809
		17	89	0.000	0.734	0.734	0.000	0.134	0.139	0.667	0.801
		18	90	0.000	0.728	0.728	0.000	0.127	0.131	0.667	0.793
		19	91	0.000	0.740	0.740	0.000	0.119	0.124	0.666	0.786
		20	92	0.000	0.704	0.704	0.000	0.113	0.117	0.665	0.778
		21	93	0.000	0.675	0.675	0.000	0.107	0.110	0.664	0.771
		22	94	0.000	0.698	0.698	0.000	0.101	0.104	0.663	0.763
		23	95	0.000	0.681	0.681	0.000	0.096	0.099	0.661	0.756
		24	96	0.000	0.652	0.652	0.000	0.091	0.094	0.659	0.749
9	14	1	97	0.000	0.687	0.687	0.000	0.086	0.089	0.656	0.742
		2	98	0.000	0.641	0.641	0.000	0.082	0.085	0.653	0.735
		3	99	0.000	0.635	0.635	0.000	0.078	0.081	0.650	0.728
		4	100	0.000	0.641	0.641	0.000	0.074	0.077	0.647	0.721
		5	101	0.000	0.602	0.602	0.000	0.071	0.073	0.644	0.715
		6	102	0.000	0.581	0.581	0.000	0.068	0.070	0.640	0.708
		7	103	0.000	0.586	0.586	0.000	0.065	0.067	0.636	0.701
		8	104	0.000	0.565	0.565	0.000	0.062	0.064	0.632	0.694
		9	105	0.000	0.560	0.560	0.000	0.059	0.061	0.628	0.687
		10	106	0.000	0.539	0.539	0.000	0.057	0.059	0.623	0.680
		11	107	0.000	0.499	0.499	0.000	0.055	0.057	0.619	0.673
		12	108	0.000	0.519	0.519	0.000	0.052	0.054	0.614	0.667
		13	109	0.000	0.499	0.499	0.000	0.050	0.052	0.609	0.660
		14	110	0.000	0.484	0.484	0.000	0.048	0.050	0.604	0.653
		15	111	0.000	0.470	0.470	0.000	0.047	0.048	0.599	0.646
		16	112	0.000	0.460	0.460	0.000	0.045	0.047	0.594	0.639
		17	113	0.000	0.460	0.460	0.000	0.043	0.045	0.589	0.632
		18	114	0.000	0.455	0.455	0.000	0.042	0.043	0.583	0.625
		19	115	0.000	0.441	0.441	0.000	0.040	0.042	0.578	0.618
		20	116	0.000	0.437	0.437	0.000	0.039	0.040	0.572	0.611
		21	117	0.000	0.427	0.427	0.000	0.038	0.039	0.567	0.604
		22	118	0.000	0.418	0.418	0.000	0.036	0.038	0.561	0.597
		23	119	0.000	0.405	0.405	0.000	0.035	0.037	0.555	0.591
		24	120	0.000	0.400	0.400	0.000	0.034	0.035	0.550	0.584
9	15	1	121	0.000	0.396	0.396	0.000	0.033	0.034	0.544	0.577
		2	122	0.000	0.383	0.383	0.000	0.032	0.033	0.538	0.570
		3	123	0.000	0.370	0.370	0.000	0.031	0.032	0.532	0.563
		4	124	0.000	0.362	0.362	0.000	0.030	0.031	0.526	0.556
		5	125	0.000	0.362	0.362	0.000	0.029	0.030	0.520	0.549
		6	126	0.000	0.353	0.353	0.000	0.029	0.030	0.514	0.543
		7	127	0.000	0.357	0.357	0.000	0.028	0.029	0.508	0.536
		8	128	0.000	0.353	0.353	0.000	0.027	0.028	0.502	0.529
		9	129	0.000	0.341	0.341	0.000	0.026	0.027	0.496	0.522
		10	130	0.000	0.330	0.330	0.000	0.026	0.027	0.490	0.516
		11	131	0.000	0.321	0.321	0.000	0.025	0.026	0.484	0.509
		12	132	0.000	0.321	0.321	0.000	0.024	0.025	0.478	0.502
		13	133	0.000	0.317	0.317	0.000	0.024	0.025	0.472	0.496
		14	134	0.000	0.309	0.309	0.000	0.023	0.024	0.466	0.489
		15	135	0.000	0.305	0.305	0.000	0.023	0.023	0.460	0.483
		16	136	0.000	0.305	0.305	0.000	0.022	0.023	0.454	0.476
		17	137	0.000	0.298	0.298	0.000	0.021	0.022	0.449	0.470
		18	138	0.000	0.294	0.294	0.000	0.021	0.022	0.443	0.464
		19	139	0.000	0.275	0.275	0.000	0.020	0.021	0.437	0.457
		20	140	0.000	0.268	0.268	0.000	0.020	0.021	0.431	0.451
		21	141	0.000	0.268	0.268	0.000	0.020	0.020	0.425	0.445
		22	142	0.000	0.264	0.264	0.000	0.019	0.020	0.420	0.439
		23	143	0.000	0.264	0.264	0.000	0.019	0.019	0.414	0.432
		24	144	0.000	0.257	0.257	0.000	0.018	0.019	0.408	0.426

表−4　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型線形貯留関数モデル (1 階ニュートン法)による再現計算結果(1)　(標津川・合流点　H10. 9. 16)

流域面積:　657.0 (km^2)　　平均雨量強度:　7.07 (mm/h)　　単位:(mm/h)

月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	10	1	1	0.000	0.148	0.000	0.148	0.147	0.242	0.000	0.147
		2	2	0.000	0.148	0.000	0.148	0.144	0.237	0.000	0.144
		3	3	0.220	0.148	0.000	0.148	0.140	0.231	0.000	0.141
		4	4	0.260	0.144	0.000	0.144	0.137	0.224	0.000	0.137
		5	5	0.220	0.144	0.001	0.144	0.133	0.218	0.001	0.134
		6	6	0.000	0.144	0.001	0.143	0.129	0.211	0.001	0.130
		7	7	0.910	0.144	0.001	0.143	0.126	0.207	0.001	0.127
		8	8	2.400	0.148	0.002	0.147	0.131	0.215	0.002	0.132
		9	9	2.090	0.148	0.002	0.146	0.145	0.237	0.002	0.146
		10	10	3.270	0.152	0.002	0.150	0.168	0.276	0.002	0.170
		11	11	5.070	0.161	0.003	0.158	0.207	0.340	0.003	0.210
		12	12	5.850	0.169	0.003	0.166	0.265	0.435	0.003	0.268
		13	13	6.240	0.182	0.004	0.179	0.340	0.559	0.004	0.344
		14	14	11.850	0.230	0.004	0.226	0.445	0.731	0.004	0.449
		15	15	9.660	0.324	0.005	0.319	0.580	0.953	0.005	0.586
		16	16	17.320	0.485	0.006	0.479	0.755	1.239	0.006	0.761
		17	17	14.290	0.651	0.007	0.644	0.969	1.591	0.007	0.976
		18	18	18.860	0.885	0.008	0.878	1.218	2.000	0.009	1.226
		19	19	16.980	1.164	0.009	1.155	1.498	2.460	0.011	1.508
		20	20	15.660	1.472	0.011	1.461	1.791	2.941	0.013	1.804
		21	21	8.440	1.788	0.013	1.776	2.067	3.395	0.016	2.083
		22	22	1.410	2.106	0.015	2.090	2.288	3.759	0.019	2.308
		23	23	0.310	2.492	0.019	2.473	2.441	4.010	0.023	2.465
		24	24	0.000	2.624	0.023	2.602	2.532	4.159	0.028	2.561
9	11	1	25	0.000	2.748	0.027	2.721	2.571	4.223	0.034	2.605
		2	26	0.000	2.829	0.033	2.796	2.567	4.216	0.040	2.607
		3	27	0.000	2.829	0.039	2.790	2.528	4.152	0.047	2.575
		4	28	0.000	2.794	0.046	2.748	2.461	4.042	0.054	2.515
		5	29	0.000	2.714	0.054	2.660	2.372	3.895	0.062	2.434
		6	30	0.000	2.624	0.062	2.562	2.266	3.722	0.071	2.337
		7	31	0.000	2.591	0.071	2.519	2.149	3.529	0.080	2.229
		8	32	0.000	2.363	0.081	2.282	2.023	3.323	0.089	2.113
		9	33	0.000	2.126	0.091	2.035	1.893	3.109	0.099	1.992
		10	34	0.000	1.901	0.101	1.800	1.760	2.891	0.109	1.869
		11	35	0.000	1.688	0.112	1.577	1.628	2.674	0.119	1.747
		12	36	0.000	1.480	0.122	1.358	1.497	2.459	0.130	1.627
		13	37	0.000	1.286	0.133	1.153	1.370	2.251	0.140	1.510
		14	38	0.000	1.105	0.144	0.961	1.248	2.049	0.151	1.398
		15	39	0.000	0.979	0.154	0.824	1.131	1.857	0.161	1.292
		16	40	0.000	0.879	0.165	0.714	1.020	1.675	0.172	1.191
		17	41	0.000	0.816	0.175	0.640	0.915	1.503	0.182	1.097
		18	42	0.000	0.766	0.186	0.581	0.817	1.342	0.192	1.009
		19	43	0.000	0.731	0.196	0.535	0.726	1.192	0.202	0.928
		20	44	0.000	0.696	0.206	0.490	0.642	1.054	0.212	0.854
		21	45	0.000	0.673	0.215	0.458	0.564	0.926	0.222	0.786
		22	46	0.000	0.651	0.225	0.426	0.493	0.810	0.232	0.725
		23	47	0.000	0.628	0.234	0.395	0.428	0.704	0.241	0.669
		24	48	0.000	0.612	0.243	0.369	0.370	0.608	0.250	0.620
9	12	1	49	0.000	0.596	0.251	0.345	0.317	0.521	0.259	0.576
		2	50	0.000	0.586	0.260	0.326	0.270	0.443	0.267	0.537
		3	51	0.000	0.575	0.268	0.307	0.227	0.373	0.275	0.502
		4	52	0.000	0.565	0.276	0.288	0.190	0.311	0.283	0.473
		5	53	0.000	0.554	0.284	0.270	0.156	0.257	0.291	0.447
		6	54	0.000	0.549	0.292	0.257	0.127	0.209	0.298	0.425
		7	55	0.000	0.539	0.299	0.240	0.101	0.167	0.305	0.406
		8	56	0.000	0.534	0.307	0.227	0.079	0.130	0.311	0.391
		9	57	0.000	0.529	0.314	0.215	0.060	0.098	0.318	0.378
		10	58	0.000	0.519	0.321	0.198	0.044	0.071	0.324	0.367
		11	59	0.000	0.514	0.327	0.187	0.029	0.048	0.330	0.359
		12	60	0.000	0.514	0.334	0.180	0.018	0.029	0.335	0.353
		13	61	0.000	0.514	0.340	0.174	0.008	0.013	0.340	0.348
		14	62	0.000	0.514	0.346	0.168	0.000	0.000	0.345	0.345
		15	63	0.000	0.514	0.352	0.162	0.000	0.000	0.350	0.350
		16	64	0.000	0.519	0.358	0.161	0.000	0.000	0.354	0.354
		17	65	0.000	0.519	0.363	0.156	0.000	0.000	0.358	0.358
		18	66	0.000	0.519	0.369	0.150	0.000	0.000	0.362	0.362
		19	67	0.000	0.514	0.374	0.140	0.000	0.000	0.366	0.366
		20	68	0.000	0.509	0.379	0.130	0.000	0.000	0.369	0.369
		21	69	0.000	0.504	0.384	0.120	0.000	0.000	0.373	0.373
		22	70	0.000	0.494	0.389	0.106	0.000	0.000	0.376	0.376
		23	71	0.000	0.490	0.393	0.096	0.000	0.000	0.379	0.379
		24	72	0.000	0.485	0.398	0.087	0.000	0.000	0.381	0.381

表−4　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型線形貯留関数モデル (1 階ニュートン法)による再現計算結果(2)　(標津川・合流点　H10. 9. 16)

流域面積: 657.0 (km^2)						平均雨量強度: 7.07 (mm/h)					単位:(mm/h)
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	13	1	73	0.000	0.480	0.402	0.078	0.000	0.000	0.384	0.384
		2	74	0.000	0.475	0.406	0.069	0.000	0.000	0.386	0.386
		3	75	0.000	0.470	0.411	0.060	0.000	0.000	0.388	0.388
		4	76	0.000	0.466	0.414	0.051	0.000	0.000	0.390	0.390
		5	77	0.000	0.461	0.418	0.043	0.000	0.000	0.392	0.392
		6	78	0.000	0.456	0.422	0.035	0.000	0.000	0.393	0.393
		7	79	0.000	0.456	0.425	0.031	0.000	0.000	0.395	0.395
		8	80	0.000	0.452	0.429	0.023	0.000	0.000	0.396	0.396
		9	81	0.000	0.447	0.432	0.015	0.000	0.000	0.397	0.397
		10	82	0.000	0.447	0.435	0.012	0.000	0.000	0.398	0.398
		11	83	0.000	0.443	0.438	0.004	0.000	0.000	0.399	0.399
		12	84	0.000	0.438	0.438	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400
		13	85	0.000	0.433	0.433	0.000	0.000	0.000	0.401	0.401
		14	86	0.000	0.429	0.429	0.000	0.000	0.000	0.401	0.401
		15	87	0.000	0.429	0.429	0.000	0.000	0.000	0.402	0.402
		16	88	0.000	0.424	0.424	0.000	0.000	0.000	0.402	0.402
		17	89	0.000	0.421	0.421	0.000	0.000	0.000	0.402	0.402
		18	90	0.000	0.421	0.421	0.000	0.000	0.000	0.403	0.403
		19	91	0.000	0.414	0.414	0.000	0.000	0.000	0.403	0.403
		20	92	0.000	0.407	0.407	0.000	0.000	0.000	0.403	0.403
		21	93	0.000	0.407	0.407	0.000	0.000	0.000	0.403	0.403
		22	94	0.000	0.400	0.400	0.000	0.000	0.000	0.402	0.402
		23	95	0.000	0.400	0.400	0.000	0.000	0.000	0.402	0.402
		24	96	0.000	0.394	0.394	0.000	0.000	0.000	0.402	0.402

表−5　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型非線形貯留関数モデル (1 階ニュートン法)による再現計算結果(1)　(標津川・合流点　H10. 9. 16)

流域面積: 657.0 (km^2)						平均雨量強度: 7.07 (mm/h)					単位:(mm/h)
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	10	1	1	0.000	0.148	0.000	0.148	0.148	0.260	0.000	0.148
		2	2	0.000	0.148	0.000	0.148	0.147	0.258	0.000	0.147
		3	3	0.220	0.148	0.000	0.148	0.146	0.256	0.000	0.146
		4	4	0.260	0.144	0.000	0.144	0.144	0.253	0.000	0.144
		5	5	0.220	0.144	0.001	0.144	0.143	0.251	0.001	0.143
		6	6	0.000	0.144	0.001	0.143	0.141	0.248	0.001	0.142
		7	7	0.910	0.144	0.001	0.143	0.139	0.245	0.001	0.140
		8	8	2.400	0.148	0.002	0.147	0.140	0.246	0.002	0.142
		9	9	2.090	0.148	0.002	0.146	0.144	0.253	0.002	0.146
		10	10	3.270	0.152	0.002	0.150	0.151	0.265	0.002	0.153
		11	11	5.070	0.161	0.003	0.158	0.164	0.288	0.003	0.167
		12	12	5.850	0.169	0.003	0.166	0.185	0.326	0.003	0.188
		13	13	6.240	0.182	0.004	0.179	0.216	0.380	0.004	0.220
		14	14	11.850	0.230	0.004	0.226	0.264	0.465	0.004	0.269
		15	15	9.660	0.324	0.005	0.319	0.336	0.591	0.005	0.341
		16	16	17.320	0.485	0.006	0.479	0.442	0.778	0.006	0.448
		17	17	14.290	0.651	0.007	0.644	0.596	1.049	0.007	0.603
		18	18	18.860	0.885	0.008	0.878	0.809	1.423	0.008	0.817
		19	19	16.980	1.164	0.009	1.155	1.092	1.921	0.009	1.101
		20	20	15.660	1.472	0.011	1.461	1.441	2.535	0.011	1.451
		21	21	8.440	1.788	0.013	1.776	1.826	3.212	0.013	1.838
		22	22	1.410	2.106	0.015	2.090	2.186	3.846	0.015	2.201
		23	23	0.310	2.492	0.019	2.473	2.477	4.358	0.019	2.495
		24	24	0.000	2.624	0.023	2.602	2.683	4.721	0.023	2.706

表−5　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型非線形貯留関数モデル (1 階ニュートン法)による再現計算結果(2)　(標津川・合流点　H10. 9. 16)

流域面積:　657.0 (km^2)　　平均雨量強度:　7.07 (mm/h)　　単位:(mm/h)

月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	11	1	25	0.000	2.748	0.027	2.721	2.804	4.933	0.027	2.831
		2	26	0.000	2.829	0.033	2.796	2.845	5.006	0.033	2.878
		3	27	0.000	2.829	0.039	2.790	2.819	4.960	0.039	2.858
		4	28	0.000	2.794	0.046	2.748	2.737	4.815	0.047	2.783
		5	29	0.000	2.714	0.054	2.660	2.612	4.596	0.054	2.667
		6	30	0.000	2.624	0.062	2.562	2.458	4.325	0.063	2.521
		7	31	0.000	2.591	0.071	2.519	2.286	4.022	0.072	2.358
		8	32	0.000	2.363	0.081	2.282	2.104	3.703	0.081	2.185
		9	33	0.000	2.126	0.091	2.035	1.921	3.380	0.091	2.012
		10	34	0.000	1.901	0.101	1.800	1.742	3.065	0.101	1.843
		11	35	0.000	1.688	0.112	1.577	1.571	2.763	0.111	1.682
		12	36	0.000	1.480	0.122	1.358	1.410	2.480	0.122	1.531
		13	37	0.000	1.286	0.133	1.153	1.261	2.218	0.132	1.393
		14	38	0.000	1.105	0.144	0.961	1.125	1.979	0.142	1.267
		15	39	0.000	0.979	0.154	0.824	1.001	1.762	0.153	1.154
		16	40	0.000	0.879	0.165	0.714	0.890	1.566	0.163	1.054
		17	41	0.000	0.816	0.175	0.640	0.791	1.392	0.174	0.965
		18	42	0.000	0.766	0.186	0.581	0.703	1.237	0.184	0.886
		19	43	0.000	0.731	0.196	0.535	0.625	1.099	0.193	0.818
		20	44	0.000	0.696	0.206	0.490	0.556	0.977	0.203	0.759
		21	45	0.000	0.673	0.215	0.458	0.494	0.870	0.213	0.707
		22	46	0.000	0.651	0.225	0.426	0.441	0.775	0.222	0.663
		23	47	0.000	0.628	0.234	0.395	0.393	0.692	0.231	0.624
		24	48	0.000	0.612	0.243	0.369	0.352	0.619	0.240	0.591
9	12	1	49	0.000	0.596	0.251	0.345	0.315	0.555	0.248	0.563
		2	50	0.000	0.586	0.260	0.326	0.283	0.498	0.256	0.539
		3	51	0.000	0.575	0.268	0.307	0.255	0.448	0.264	0.519
		4	52	0.000	0.565	0.276	0.288	0.230	0.404	0.272	0.501
		5	53	0.000	0.554	0.284	0.270	0.208	0.365	0.279	0.487
		6	54	0.000	0.549	0.292	0.257	0.188	0.331	0.286	0.474
		7	55	0.000	0.539	0.299	0.240	0.171	0.300	0.293	0.464
		8	56	0.000	0.534	0.307	0.227	0.156	0.274	0.300	0.455
		9	57	0.000	0.529	0.314	0.215	0.142	0.250	0.306	0.448
		10	58	0.000	0.519	0.321	0.198	0.130	0.229	0.312	0.442
		11	59	0.000	0.514	0.327	0.187	0.119	0.210	0.318	0.437
		12	60	0.000	0.514	0.334	0.180	0.110	0.193	0.323	0.433
		13	61	0.000	0.514	0.340	0.174	0.101	0.178	0.329	0.430
		14	62	0.000	0.514	0.346	0.168	0.093	0.164	0.334	0.427
		15	63	0.000	0.514	0.352	0.162	0.087	0.152	0.339	0.425
		16	64	0.000	0.519	0.358	0.161	0.080	0.141	0.343	0.424
		17	65	0.000	0.519	0.363	0.156	0.075	0.132	0.348	0.422
		18	66	0.000	0.519	0.369	0.150	0.070	0.123	0.352	0.422
		19	67	0.000	0.514	0.374	0.140	0.065	0.115	0.356	0.421
		20	68	0.000	0.509	0.379	0.130	0.061	0.107	0.360	0.421
		21	69	0.000	0.504	0.384	0.120	0.057	0.101	0.363	0.420
		22	70	0.000	0.494	0.389	0.106	0.054	0.095	0.366	0.420
		23	71	0.000	0.490	0.393	0.096	0.051	0.089	0.370	0.420
		24	72	0.000	0.485	0.398	0.087	0.048	0.084	0.373	0.421
9	13	1	73	0.000	0.480	0.402	0.078	0.045	0.080	0.376	0.421
		2	74	0.000	0.475	0.406	0.069	0.043	0.076	0.378	0.421
		3	75	0.000	0.470	0.411	0.060	0.041	0.072	0.381	0.421
		4	76	0.000	0.466	0.414	0.051	0.039	0.068	0.383	0.422
		5	77	0.000	0.461	0.418	0.043	0.037	0.065	0.385	0.422
		6	78	0.000	0.456	0.422	0.035	0.035	0.062	0.387	0.422
		7	79	0.000	0.456	0.425	0.031	0.034	0.059	0.389	0.423
		8	80	0.000	0.452	0.429	0.023	0.032	0.057	0.391	0.423
		9	81	0.000	0.447	0.432	0.015	0.031	0.054	0.392	0.423
		10	82	0.000	0.447	0.435	0.012	0.030	0.052	0.394	0.424
		11	83	0.000	0.443	0.438	0.004	0.028	0.050	0.395	0.424
		12	84	0.000	0.438	0.438	0.000	0.027	0.048	0.396	0.424
		13	85	0.000	0.433	0.433	0.000	0.026	0.046	0.398	0.424
		14	86	0.000	0.429	0.429	0.000	0.025	0.045	0.399	0.424
		15	87	0.000	0.429	0.429	0.000	0.024	0.043	0.399	0.424
		16	88	0.000	0.424	0.424	0.000	0.024	0.042	0.400	0.424
		17	89	0.000	0.421	0.421	0.000	0.023	0.040	0.401	0.424
		18	90	0.000	0.421	0.421	0.000	0.022	0.039	0.401	0.424
		19	91	0.000	0.414	0.414	0.000	0.021	0.038	0.402	0.423
		20	92	0.000	0.407	0.407	0.000	0.021	0.036	0.402	0.423
		21	93	0.000	0.407	0.407	0.000	0.020	0.035	0.403	0.423
		22	94	0.000	0.400	0.400	0.000	0.020	0.034	0.403	0.422
		23	95	0.000	0.400	0.400	0.000	0.019	0.033	0.403	0.422
		24	96	0.000	0.394	0.394	0.000	0.018	0.032	0.403	0.421

湧別川・丸瀬布におけるフィルター分離法を活用した 2 段タンク型線形・非線形貯留関数モデルによる最適化結果を、**表－6**、**表－7** に示す。

全流出高の再現結果について、**図－4** に示すとおり、線形モデルに比べ非線形モデルのピーク付近の再現性が良好である。しかしながら、減衰部では再現全流出高が実測値を上回っている。これは、地下水流出成分分離の際、$q_2 > q$ のとき $q_2 = q$ として分離表面・中間流出高を算出し、表面・中間流出のパラメータを最適化したため、地下水流出成分の再現性が十分でなかったと考えられる(**図－3**)。したがって、精度向上のためには、地下水流出成分分離をせずに、表面・中間流出と地下水流出を同時に最適化計算する必要がある。

表－6　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型貯留関数モデルのパラメータ最適化　　湧別川・丸瀬布　(H13. 9. 11)

	線形貯留関数	非線形貯留関数
最適化手法	一階ニュートン法	一階ニュートン法
収束回数	8	9
k_{11}	24.696	40.606
k_{12}	168.332	318.167
c_{11}	1.702	8.158
c_{12}	0.276	0.252
c_{13}	2.112	2.035
RMSE (mm/h)	0.132	0.129
KAI2 (mm/h)	0.036	0.032
J_{pe}	0.145	0.062
J_{re}	0.261	0.201
E_w	0.212	0.085
E	0.002	0.002
E_v	−0.041	−0.044
E_p	0.145	0.062

計算時間間隔:T=1/10

表－7　最適化パラメータにおける観測値と計算値の比較　湧別川・丸瀬布　(H13. 9. 11)

	線形貯留関数	非線形貯留関数
最適化手法	一階ニュートン法	一階ニュートン法
観測総流出高 (mm)	123.892	123.892
計算総流出高 (mm)	128.947	129.303
観測流量ピーク値 (m^3/s)	645.810	645.810
計算流量ピーク値 (m^3/s)	551.999	605.804

標津川・合流点におけるフィルター分離法を活用した 2 段タンク型線形・非線形貯留関数モデルによる最適化結果を、**表－8**、**表－9** に示す。

全流出高の再現結果について、**図－7** に示すとおり、線形貯留関数モデルに比べ、非線形貯留関数モデルは、ピーク付近の再現性が良好である。また、ハイドログラフの第一折点と第二折点の間の再現性についても、非線形貯留関数モデルの方が優れている。

表－8　フィルター分離法を活用した 2 段タンク型貯留関数モデルのパラメータ最適化　　標津川・合流点　(H10. 9. 16)

	線形貯留関数	非線形貯留関数
最適化手法	一階ニュートン法	一階ニュートン法
収束回数	8	7
k_{11}	35.222	54.171
k_{12}	171.203	437.068
c_{11}	2.629	11.417
c_{12}	0.138	0.250
c_{13}	2.642	2.759
RMSE (mm/h)	0.160	0.070
KAI2 (mm/h)	0.033	0.006
J_{pe}	0.079	0.017
J_{re}	0.189	0.079
E_w	0.067	0.010
E	0.003	0.001
E_v	0.014	0.020
E_p	0.079	−0.017

計算時間間隔：T=1/10

表－9　最適化パラメータにおける観測値と計算値の比較　　標津川・合流点　(H10. 9. 16)

	線形貯留関数	非線形貯留関数
最適化手法	一階ニュートン法	一階ニュートン法
観測総流出高 (mm)	77.849	77.849
計算総流出高 (mm)	76.797	76.304
観測流量ピーク値 (m^3/s)	516.300	516.300
計算流量ピーク値 (m^3/s)	475.770	525.304

[解答 2]

標津川・合流点における損失項を含む貯留関数法(1 段タンク型貯留関数モデル)による最適化結果を、**表－10**、**表－11** に示す。

最適化手法によるパラメータの同定及び流出高の再現結果に差異は認められなかった。

表－10　1 段タンク型貯留関数モデルのパラメータ最適化

標津川・合流点　(H10. 9. 16)

最適化手法	一階ニュートン法	ダビドン法
収束回数	9	9
k_{11}	68.908	68.904
k_{12}	356.442	356.392
c_{11}	14.523	14.522
c_{12}	0.126	0.126
c_{13}	2.040	2.040
RMSE (mm/h)	0.182	0.182
KAI2 (mm/h)	0.053	0.053
J_{pe}	0.034	0.034
J_{re}	0.257	0.257
E_w	0.103	0.103
E	0.004	0.004
E_v	0.047	0.047
E_p	0.034	0.034

減衰係数:λ=0.0091, 計算時間間隔:T=1/10

表－11　最適化パラメータにおける観測値と計算値の比較

標津川・合流点　(H10. 9. 16)

最適化手法	一階ニュートン法	ダビドン法
観測総流出高 (mm)	77.849	77.849
計算総流出高 (mm)	74.197	74.195
観測流量ピーク値 (m^3/s)	516.300	516.300
計算流量ピーク値 (m^3/s)	498.502	498.503

[解答 3]

湧別川・丸瀬布地点における「1 段タンク型貯留関数モデル」と「フィルター分離法を活用した 2 段タンク型非線形貯留関数モデル」による最適化結果を**表－12、表－13** に示す。また、実測ハイドログラフとそれぞれの計算ハイドログラフを比較したものを、**図－8** に示す。

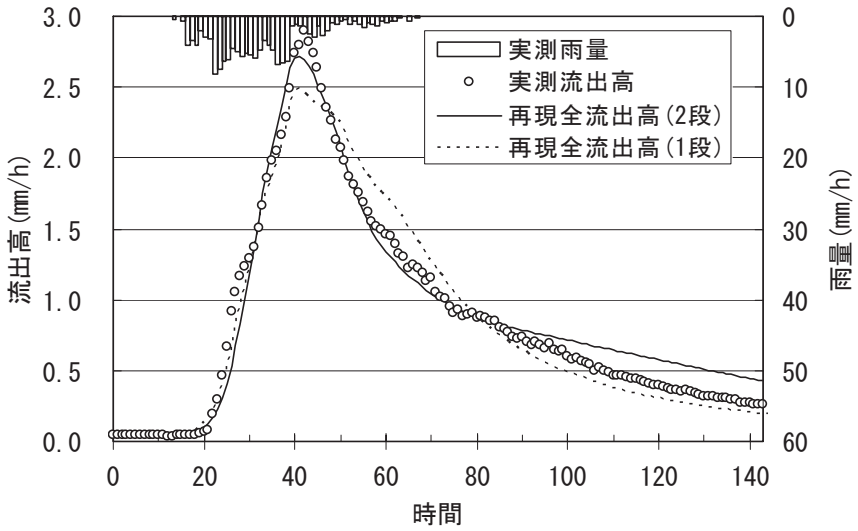
1 段タンク型貯留関数モデルに比べ 2 段タンク型非線形貯留関数モデルは、ピーク付近の再現性が良好である。減衰部の再現性については、1 段タンク型貯留関数モデルの方が良好である。

表－12　1 段タンク型貯留関数モデルとフィルター分離法を活用した 2 段タンク型非線形貯留関数モデルの最適化結果の比較
（湧別川・丸瀬布　(H13. 9. 11)）

	1段タンク型貯留関数モデル	2段タンク型非線形貯留関数モデル
最適化手法	一階ニュートン法	一階ニュートン法
収束回数	6	9
k_{11}	56.623	40.606
k_{12}	120.299	318.167
c_{11}	11.376	8.158
c_{12}	0.049	0.252
c_{13}	1.171	2.035
RMSE (mm/h)	0.129	0.129
KAI2 (mm/h)	0.020	0.032
J_{pe}	0.142	0.062
J_{re}	0.185	0.201
E_w	0.086	0.085
E	0.002	0.002
E_v	0.025	−0.044
E_p	0.142	0.062

表－13　1 段タンク型貯留関数モデルとフィルター分離法を活用した 2 段タンク型非線形貯留関数モデルの最適化パラメータにおける観測値と計算値の比較
（湧別川・丸瀬布　(H13. 9. 11)）

	1段タンク型貯留関数モデル	2段タンク型非線形貯留関数モデル
最適化手法	一階ニュートン法	一階ニュートン法
観測総流出高 (mm)	123.892	123.892
計算総流出高 (mm)	120.785	129.303
観測流量ピーク値 (m^3/s)	645.810	645.810
計算流量ピーク値 (m^3/s)	554.176	605.804



図－8　1 段タンク型貯留関数法とフィルター分離法を活用した 2 段タンク型非線形貯留関数法による全流出高再現結果の比較
（湧別川・丸瀬布　H13.9.11）

標津川・合流点における「1 段タンク型貯留関数モデル」と「フィルター分離法を活用した 2 段タンク型非線形貯留関数モデル」による最適化結果を**表－14、表－15** に示す。また、実測ハイドログラフとそれぞれの計算ハイドログラフを比較したものを、**図－9** に示す。

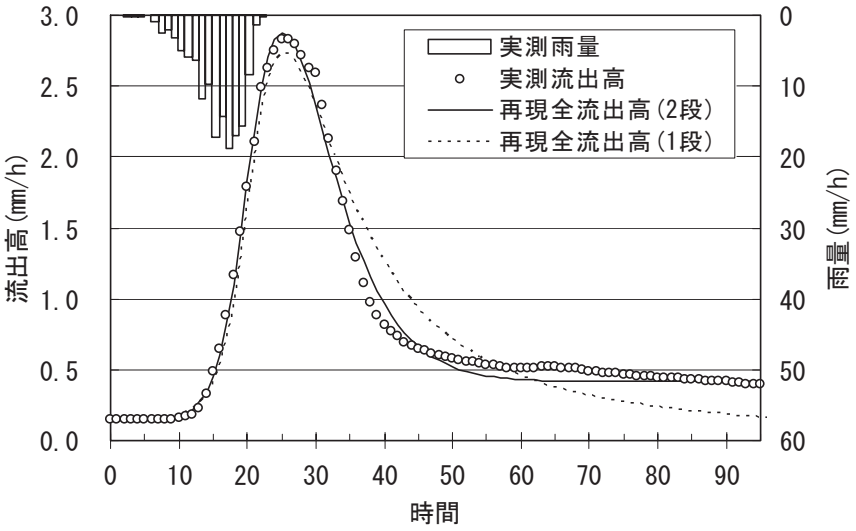
1 段タンク型貯留関数モデルに比べ 2 段タンク型非線形貯留関数モデルは、全期間で再現性が良好である。1 段タンク型貯留関数モデルは、減衰部の再現形状が観測値と合っていない。

表－14　1 段タンク型貯留関数モデルとフィルター分離法を活用した 2 段タンク型非線形貯留関数モデルの最適化結果の比較
（標津川・合流点　(H10.9.16)）

	1段タンク型貯留関数モデル	2段タンク型非線形貯留関数モデル
最適化手法	一階ニュートン法	一階ニュートン法
収束回数	9	7
k_{11}	68.908	54.171
k_{12}	356.442	437.068
c_{11}	14.523	11.417
c_{12}	0.126	0.250
c_{13}	2.040	2.759
RMSE (mm/h)	0.182	0.070
KAI2 (mm/h)	0.053	0.006
J_{pe}	0.034	0.017
J_{re}	0.257	0.079
E_w	0.103	0.010
E	0.004	0.001
E_v	0.047	0.020
E_p	0.034	−0.017

表－15　1 段タンク型貯留関数モデルとフィルター分離法を活用した
2 段タンク型非線形貯留関数モデルの最適化パラメータにおける観測値と計算値の比較
（標津川・合流点　(H10.9.16)）

	1段タンク型貯留関数モデル	2段タンク型非線形貯留関数モデル
最適化手法	一階ニュートン法	一階ニュートン法
観測総流出高 (mm)	77.849	77.849
計算総流出高 (mm)	74.197	76.304
観測流量ピーク値 (m^3/s)	516.300	516.300
計算流量ピーク値 (m^3/s)	498.502	525.304



図－9　1 段タンク型貯留関数法とフィルター分離法を活用した
2 段タンク型非線形貯留関数法による全流出高再現結果の比較
（標津川・合流点　(H10.9.16)）

[解答 4]

浸透供給量bが既知量の場合と未知量の場合の比較を、標津川合流点における 2 段タンク型貯留関数法により再現計算を行った。計算結果を**表－16** に示す。

浸透供給量bが既知量または未知量の違いによる、計算値の差異が認められない。したがって、浸透供給量bを既知量とし、1 段目タンクと 2 段目タンクをそれぞれ独立に計算することが可能である。

文責　宮武　真由子

表－16　2 段タンク型貯留関数法による再現計算結果
浸透供給量bが既知量と未知量の比較　（標津川合流点　H10. 9. 16）

単位:(mm/h)

月	日	時	表面・中間流出高		地下水流出高		全流出高	
			b既知	b未知	b既知	b未知	b既知	b未知
9	16	1	0.1478	0.1478	0.0000	0.0000	0.1478	0.1478
		2	0.1468	0.1468	0.0001	0.0001	0.1469	0.1469
		3	0.1455	0.1455	0.0002	0.0002	0.1457	0.1457
		4	0.1440	0.1440	0.0004	0.0004	0.1444	0.1444
		5	0.1425	0.1425	0.0006	0.0006	0.1431	0.1431
		6	0.1407	0.1407	0.0009	0.0009	0.1416	0.1416
		7	0.1392	0.1392	0.0012	0.0012	0.1404	0.1404
		8	0.1400	0.1400	0.0015	0.0015	0.1415	0.1415
		9	0.1437	0.1437	0.0019	0.0019	0.1456	0.1456
		10	0.1509	0.1509	0.0023	0.0023	0.1532	0.1532
		11	0.1639	0.1639	0.0027	0.0027	0.1667	0.1667
		12	0.1852	0.1852	0.0032	0.0032	0.1884	0.1884
		13	0.2162	0.2162	0.0038	0.0038	0.2200	0.2200
		14	0.2645	0.2645	0.0043	0.0044	0.2688	0.2688
		15	0.3361	0.3361	0.0050	0.0050	0.3411	0.3412
		16	0.4429	0.4429	0.0058	0.0058	0.4486	0.4486
		17	0.5976	0.5976	0.0066	0.0066	0.6042	0.6042
		18	0.8108	0.8108	0.0077	0.0077	0.8185	0.8185
		19	1.0947	1.0947	0.0090	0.0090	1.1036	1.1037
		20	1.4446	1.4446	0.0106	0.0106	1.4551	1.4552
		21	1.8305	1.8305	0.0127	0.0127	1.8431	1.8432
		22	2.1913	2.1913	0.0153	0.0154	2.2066	2.2067
		23	2.4819	2.4819	0.0186	0.0187	2.5005	2.5006
9	17	0	2.6878	2.6878	0.0226	0.0228	2.7104	2.7106
		1	2.8078	2.8078	0.0274	0.0276	2.8352	2.8355
		2	2.8485	2.8485	0.0330	0.0333	2.8815	2.8818
		3	2.8207	2.8207	0.0394	0.0397	2.8601	2.8604
		4	2.7374	2.7374	0.0466	0.0469	2.7839	2.7843
		5	2.6119	2.6119	0.0544	0.0547	2.6663	2.6667
		6	2.4570	2.4570	0.0628	0.0632	2.5198	2.5202
		7	2.2839	2.2839	0.0718	0.0722	2.3556	2.3560
		8	2.1018	2.1018	0.0812	0.0816	2.1829	2.1834
		9	1.9181	1.9181	0.0909	0.0914	2.0091	2.0095
		10	1.7386	1.7386	0.1010	0.1014	1.8395	1.8400
		11	1.5670	1.5670	0.1112	0.1117	1.6783	1.6787
		12	1.4061	1.4061	0.1216	0.1221	1.5277	1.5282
		13	1.2573	1.2573	0.1321	0.1326	1.3894	1.3898
		14	1.1212	1.1212	0.1426	0.1430	1.2638	1.2643
		15	0.9980	0.9980	0.1530	0.1535	1.1510	1.1515
		16	0.8873	0.8873	0.1634	0.1638	1.0506	1.0511
		17	0.7883	0.7883	0.1736	0.1740	0.9619	0.9623
		18	0.7003	0.7003	0.1837	0.1841	0.8839	0.8844
		19	0.6223	0.6223	0.1936	0.1940	0.8158	0.8163
		20	0.5533	0.5533	0.2033	0.2037	0.7566	0.7570
		21	0.4925	0.4925	0.2127	0.2131	0.7052	0.7056
		22	0.4389	0.4389	0.2220	0.2224	0.6609	0.6613
		23	0.3918	0.3918	0.2309	0.2313	0.6227	0.6231
9	18	0	0.3504	0.3504	0.2397	0.2400	0.5900	0.5904

月	日	時	表面・中間流出高		地下水流出高		全流出高	
			b既知	b未知	b既知	b未知	b既知	b未知
9	18	1	0.3139	0.3139	0.2481	0.2485	0.5620	0.5624
		2	0.2818	0.2818	0.2563	0.2566	0.5381	0.5385
		3	0.2536	0.2536	0.2642	0.2646	0.5178	0.5181
		4	0.2287	0.2287	0.2719	0.2722	0.5005	0.5008
		5	0.2067	0.2067	0.2792	0.2795	0.4859	0.4862
		6	0.1873	0.1873	0.2863	0.2866	0.4736	0.4739
		7	0.1701	0.1701	0.2932	0.2934	0.4633	0.4636
		8	0.1549	0.1549	0.2997	0.3000	0.4547	0.4549
		9	0.1414	0.1414	0.3060	0.3063	0.4475	0.4477
		10	0.1295	0.1295	0.3121	0.3123	0.4415	0.4418
		11	0.1188	0.1188	0.3179	0.3181	0.4367	0.4369
		12	0.1093	0.1093	0.3234	0.3236	0.4327	0.4329
		13	0.1007	0.1007	0.3287	0.3289	0.4295	0.4297
		14	0.0931	0.0931	0.3338	0.3340	0.4269	0.4271
		15	0.0863	0.0863	0.3386	0.3388	0.4249	0.4251
		16	0.0801	0.0801	0.3432	0.3434	0.4233	0.4235
		17	0.0746	0.0746	0.3476	0.3478	0.4222	0.4223
		18	0.0696	0.0696	0.3518	0.3519	0.4214	0.4215
		19	0.0651	0.0651	0.3557	0.3559	0.4208	0.4209
		20	0.0610	0.0610	0.3595	0.3596	0.4204	0.4206
		21	0.0572	0.0572	0.3630	0.3632	0.4203	0.4204
		22	0.0539	0.0539	0.3664	0.3665	0.4203	0.4204
		23	0.0508	0.0508	0.3696	0.3697	0.4203	0.4204
9	19	0	0.0479	0.0479	0.3726	0.3727	0.4205	0.4206
		1	0.0454	0.0454	0.3754	0.3755	0.4208	0.4208
		2	0.0430	0.0430	0.3781	0.3781	0.4211	0.4211
		3	0.0408	0.0408	0.3805	0.3806	0.4214	0.4214
		4	0.0388	0.0388	0.3829	0.3829	0.4217	0.4217
		5	0.0370	0.0370	0.3850	0.3851	0.4220	0.4221
		6	0.0353	0.0353	0.3871	0.3871	0.4223	0.4224
		7	0.0337	0.0337	0.3889	0.3890	0.4226	0.4227
		8	0.0322	0.0322	0.3907	0.3907	0.4229	0.4229
		9	0.0309	0.0309	0.3923	0.3923	0.4232	0.4232
		10	0.0296	0.0296	0.3938	0.3938	0.4234	0.4234
		11	0.0284	0.0284	0.3951	0.3951	0.4236	0.4236
		12	0.0274	0.0274	0.3963	0.3963	0.4237	0.4237
		13	0.0263	0.0263	0.3974	0.3974	0.4238	0.4238
		14	0.0254	0.0254	0.3984	0.3984	0.4238	0.4238
		15	0.0245	0.0245	0.3993	0.3993	0.4238	0.4238
		16	0.0236	0.0236	0.4001	0.4001	0.4237	0.4237
		17	0.0228	0.0228	0.4008	0.4007	0.4236	0.4236
		18	0.0221	0.0221	0.4013	0.4013	0.4234	0.4234
		19	0.0214	0.0214	0.4018	0.4018	0.4232	0.4232
		20	0.0207	0.0207	0.4022	0.4022	0.4229	0.4229
		21	0.0201	0.0201	0.4025	0.4025	0.4226	0.4226
		22	0.0195	0.0195	0.4027	0.4027	0.4222	0.4222
		23	0.0189	0.0189	0.4028	0.4028	0.4218	0.4217
9	20	0	0.0184	0.0184	0.4029	0.4028	0.4213	0.4213

$T=1/10, c_{11}=11.41, c_{12}=0.25, c_{13}=2.76, T_c=110.42, \delta=2.1, q_0=0.1482(\mathrm{mm/h})$

第 11 回　流出解析ゼミ

― 全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型貯留関数モデルの最適化 ―

［問題］

「第 10 回ゼミ」の問題で用いた湧別川・丸瀬布地点と標津川・合流点の洪水資料（実測雨量と実測流量）を用いて、**「地下水流出成分を含む貯留関数法」**で検討してきた次に掲げる 2 種の貯留関数型流出モデル定数の最適化を行え。

(i)　2 段タンク型**線形**貯留関数モデルのパラメータ c_{11}, c_{12} 及び c_{13} の同定

(ii)　2 段タンク型**非線形**貯留関数モデルのパラメータ c_{11}, c_{12} 及び c_{13} の同定

また、2 段タンク型**線形（非線形）**貯留関数モデル定数 c_{11}, c_{12} 及び c_{13} を最適値探索にあたっては、次に示す 2 種の最適化手法を用いて同定せよ。

(i)　一階ニュートン法

(ii)　ダビドン法

なお、計算時間間隔は T =1/10、モデル定数 c_{11}, c_{12} 及び c_{13} の初期値を、線形貯留関数モデルでは、c_{11} =2.0, c_{12} =0.15 及び c_{13} =2.50、非線形貯留関数モデルでは、c_{11} =9.0, c_{12} =0.15 及び c_{13} =1.50 とせよ。また、地下水流出成分の分離時定数は、湧別川・丸瀬布では T_c =75.8、標津川・合流点では T_c =110.42 とせよ。減衰係数は、δ =2.1 とせよ。

また、流入量 q の入力値は時間平均を用いよ。すなわち、t 時間目と $t+1$ 時間目の間では、$\left(q_t + q_{t+1}\right)/2$ の値を用いよ。

「第 5 回ゼミ」の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の精度指標を上記の条件下で計算せよ。精度評価指標（E_w と J_{re}）の計算においては、洪水開始直後と洪水終了直前で誤差が大きくなる傾向にあるため、0.01($m^3/s/km^2$)に相当する比流量、すなわち、実測値が 0.04(mm/h)以下の流出高を計算対象から除くものとする。

最適化結果を用いて、実測ハイドログラフと計算ハイドログラフを図示して比較せよ。

［解答］

湧別川・丸瀬布地点における洪水資料について、全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型貯留関数モデルの各種最適化計算結果を**表－2**、**表－3** 及び**図－4**、**図－5** に示す。

線形モデルに比べ非線形モデルは、ピーク付近の再現性が良い。減衰部については、線形・非線形モデルとも、実測値よりも緩やかに減衰している。

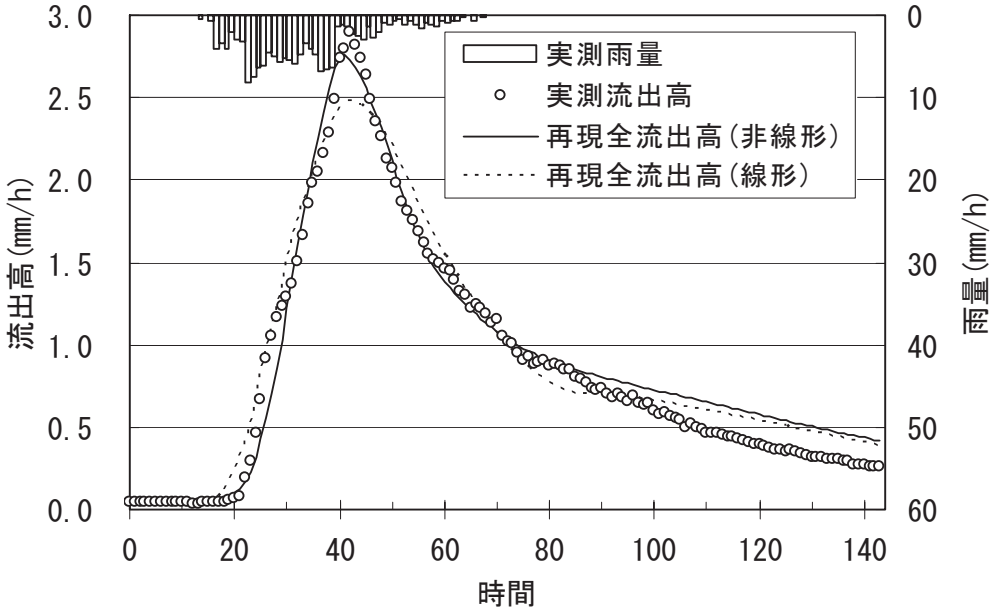
また、一階ニュートン法とダビドン法による最適化結果に差異は見られない。一階ニュートン法による 2 段タンク型線形・非線形貯留関数モデルの計算結果を**表－4**、**表－5** に示す。

表－2　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型貯留関数モデルの最適化結果の比較
（湧別川・丸瀬布　H13. 9. 11）

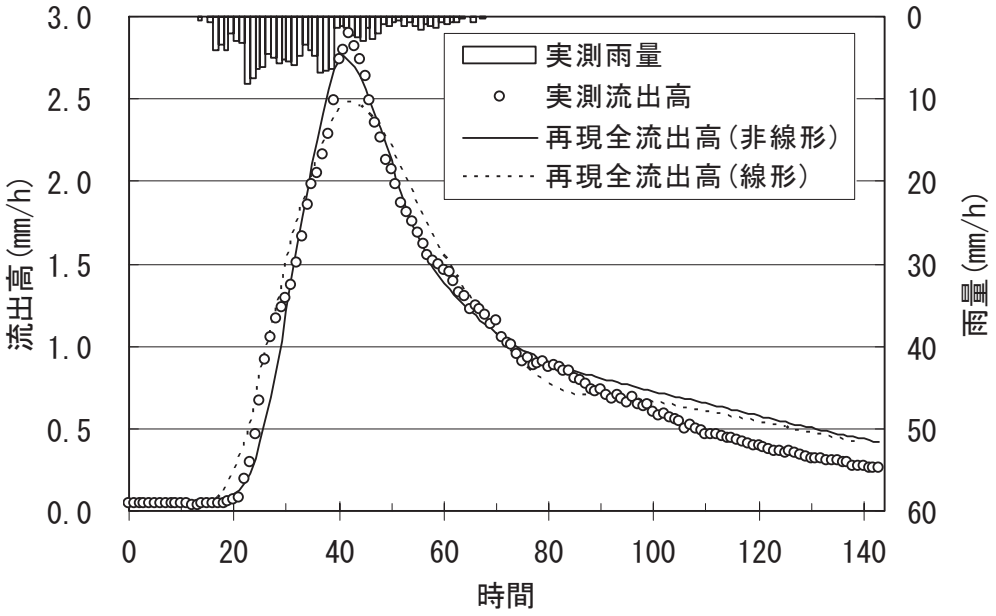
	2段タンク型貯留関数モデル			
	線形	線形	非線形	非線形
最適化手法	一階ニュートン法	ダビドン法	一階ニュートン法	ダビドン法
収束回数	6	10	10	6
k_{11}	25.610	25.610	40.745	40.745
k_{12}	158.069	158.069	307.642	307.642
c_{11}	1.765	1.765	8.186	8.186
c_{12}	0.241	0.241	0.242	0.242
c_{13}	2.039	2.039	1.970	1.971
RMSE (mm/h)	0.128	0.128	0.127	0.127
KAI2 (mm/h)	0.035	0.035	0.031	0.031
J_{pe}	0.146	0.146	0.049	0.049
J_{re}	0.255	0.255	0.200	0.200
E_w	0.225	0.225	0.082	0.082
E	0.002	0.002	0.002	0.002
E_v	−0.057	−0.057	−0.064	−0.063
E_p	0.146	0.146	0.049	0.049

表－3　最適化パラメータにおける観測値と計算値の比較　（湧別川・丸瀬布　H13. 9. 11）

	2段タンク型貯留関数モデル			
	線形	線形	非線形	非線形
最適化手法	一階ニュートン法	ダビドン法	一階ニュートン法	ダビドン法
観測総流出高 (mm)	123.892	123.892	123.892	123.892
計算総流出高 (mm)	130.957	130.967	131.760	131.753
観測流量ピーク値 (m^3/s)	645.810	645.810	645.810	645.810
計算流量ピーク値 (m^3/s)	551.284	551.311	614.163	614.211



図－4　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型線形・非線形貯留関数モデル
(1 階ニュートン法)の全流出高再現結果の比較　(湧別川・丸瀬布　H13.9.11)



図－5　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型線形・非線形貯留関数モデル
(ダビドン法)の全流出高再現結果の比較　(湧別川・丸瀬布　H13.9.11)

表－4　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型線形貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による再現計算結果(1)　(湧別川・丸瀬布　H13.9.11)

単位:(mm/h)

流域面積: 802.0 (km^2)						平均雨量強度: 2.74 (mm/h)			
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	10	1	1	0.000	0.042	0.042	0.044	0.000	0.042
		2	2	0.000	0.042	0.041	0.043	0.000	0.041
		3	3	0.000	0.042	0.040	0.042	0.000	0.040
		4	4	0.000	0.041	0.039	0.040	0.000	0.039
		5	5	0.000	0.041	0.037	0.039	0.000	0.037
		6	6	0.000	0.041	0.035	0.037	0.001	0.036
		7	7	0.000	0.041	0.033	0.035	0.001	0.034
		8	8	0.000	0.041	0.031	0.032	0.001	0.032
		9	9	0.000	0.041	0.029	0.030	0.001	0.030
		10	10	0.000	0.041	0.027	0.028	0.001	0.028
		11	11	0.000	0.041	0.025	0.026	0.001	0.026
		12	12	0.000	0.041	0.023	0.023	0.002	0.024
		13	13	0.100	0.039	0.021	0.022	0.002	0.023
		14	14	0.340	0.039	0.020	0.021	0.002	0.022
		15	15	0.000	0.041	0.021	0.021	0.002	0.023
		16	16	0.650	0.041	0.023	0.023	0.003	0.025
		17	17	4.070	0.042	0.038	0.040	0.003	0.041
		18	18	3.450	0.044	0.073	0.075	0.003	0.076
		19	19	4.050	0.048	0.123	0.128	0.003	0.126
		20	20	2.120	0.056	0.182	0.189	0.004	0.186
		21	21	3.050	0.073	0.246	0.255	0.004	0.250
		22	22	3.090	0.085	0.315	0.327	0.005	0.319
		23	23	8.100	0.195	0.403	0.418	0.006	0.408
		24	24	7.510	0.300	0.518	0.538	0.007	0.525
9	11	1	25	6.380	0.460	0.650	0.676	0.008	0.658
		2	26	6.200	0.670	0.792	0.823	0.010	0.802
		3	27	4.500	0.912	0.934	0.970	0.012	0.946
		4	28	5.090	1.048	1.072	1.113	0.015	1.086
		5	29	5.770	1.163	1.208	1.255	0.018	1.226
		6	30	5.180	1.238	1.341	1.393	0.022	1.363
		7	31	5.380	1.292	1.469	1.526	0.027	1.496
		8	32	5.900	1.371	1.594	1.656	0.033	1.627
		9	33	4.860	1.511	1.712	1.778	0.039	1.751
		10	34	3.430	1.666	1.816	1.887	0.047	1.863
		11	35	4.000	1.857	1.905	1.979	0.055	1.960
		12	36	4.820	1.980	1.984	2.061	0.064	2.048
		13	37	6.890	2.048	2.061	2.141	0.074	2.135
		14	38	6.550	2.157	2.142	2.225	0.085	2.227
		15	39	6.390	2.290	2.223	2.309	0.097	2.320
		16	40	1.360	2.491	2.287	2.376	0.110	2.397
		17	41	1.100	2.734	2.322	2.412	0.124	2.446
		18	42	1.270	2.791	2.331	2.421	0.138	2.469
		19	43	2.160	2.899	2.321	2.411	0.154	2.475
		20	44	2.430	2.816	2.298	2.387	0.170	2.468
		21	45	3.000	2.735	2.267	2.355	0.187	2.454
		22	46	1.360	2.643	2.227	2.313	0.204	2.431
		23	47	2.700	2.486	2.178	2.262	0.222	2.400
		24	48	1.950	2.356	2.124	2.206	0.241	2.364
9	12	1	49	1.000	2.260	2.061	2.141	0.259	2.320
		2	50	1.160	2.125	1.989	2.067	0.279	2.268
		3	51	0.650	2.075	1.910	1.984	0.298	2.208
		4	52	0.360	1.985	1.823	1.894	0.317	2.140
		5	53	1.100	1.869	1.731	1.799	0.337	2.068
		6	54	0.650	1.812	1.638	1.702	0.356	1.994
		7	55	1.190	1.756	1.545	1.605	0.375	1.920
		8	56	1.550	1.682	1.455	1.511	0.394	1.849
		9	57	0.950	1.620	1.368	1.422	0.413	1.782
		10	58	1.160	1.549	1.285	1.335	0.432	1.716
		11	59	1.360	1.515	1.206	1.253	0.450	1.655
		12	60	0.680	1.497	1.130	1.174	0.467	1.597
		13	61	1.000	1.463	1.057	1.098	0.484	1.542
		14	62	0.710	1.446	0.988	1.026	0.501	1.489
		15	63	0.650	1.396	0.921	0.956	0.517	1.438
		16	64	0.160	1.323	0.855	0.888	0.533	1.388
		17	65	0.000	1.299	0.790	0.820	0.547	1.337
		18	66	0.710	1.228	0.727	0.755	0.562	1.288
		19	67	0.000	1.244	0.667	0.693	0.575	1.242
		20	68	0.200	1.221	0.608	0.632	0.588	1.196
		21	69	0.000	1.190	0.552	0.573	0.600	1.152
		22	70	0.100	1.130	0.498	0.517	0.612	1.109
		23	71	0.070	1.160	0.446	0.463	0.622	1.068
		24	72	0.000	1.049	0.397	0.412	0.632	1.030

表－4　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型線形貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による再現計算結果(2)　(湧別川・丸瀬布　H13.9.11)

単位:(mm/h)

流域面積: 802.0 (km^2)						平均雨量強度: 2.74 (mm/h)			
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	13	1	73	0.000	1.014	0.351	0.364	0.642	0.992
		2	74	0.000	1.007	0.307	0.319	0.650	0.957
		3	75	0.000	0.951	0.266	0.277	0.658	0.925
		4	76	0.000	0.911	0.229	0.238	0.665	0.894
		5	77	0.000	0.931	0.194	0.201	0.672	0.866
		6	78	0.000	0.885	0.162	0.168	0.678	0.839
		7	79	0.000	0.898	0.133	0.138	0.683	0.815
		8	80	0.000	0.911	0.106	0.111	0.687	0.793
		9	81	0.000	0.871	0.083	0.086	0.691	0.773
		10	82	0.000	0.885	0.062	0.064	0.694	0.755
		11	83	0.000	0.871	0.043	0.045	0.696	0.739
		12	84	0.000	0.852	0.027	0.028	0.698	0.725
		13	85	0.000	0.846	0.012	0.013	0.699	0.712
		14	86	0.000	0.801	0.000	0.000	0.700	0.700
		15	87	0.000	0.795	0.000	0.000	0.700	0.700
		16	88	0.000	0.770	0.000	0.000	0.700	0.700
		17	89	0.000	0.734	0.000	0.000	0.699	0.699
		18	90	0.000	0.728	0.000	0.000	0.698	0.698
		19	91	0.000	0.740	0.000	0.000	0.696	0.696
		20	92	0.000	0.704	0.000	0.000	0.694	0.694
		21	93	0.000	0.675	0.000	0.000	0.691	0.691
		22	94	0.000	0.698	0.000	0.000	0.688	0.688
		23	95	0.000	0.681	0.000	0.000	0.685	0.685
		24	96	0.000	0.652	0.000	0.000	0.682	0.682
9	14	1	97	0.000	0.687	0.000	0.000	0.678	0.678
		2	98	0.000	0.641	0.000	0.000	0.674	0.674
		3	99	0.000	0.635	0.000	0.000	0.670	0.670
		4	100	0.000	0.641	0.000	0.000	0.665	0.665
		5	101	0.000	0.602	0.000	0.000	0.660	0.660
		6	102	0.000	0.581	0.000	0.000	0.655	0.655
		7	103	0.000	0.586	0.000	0.000	0.650	0.650
		8	104	0.000	0.565	0.000	0.000	0.645	0.645
		9	105	0.000	0.560	0.000	0.000	0.639	0.639
		10	106	0.000	0.539	0.000	0.000	0.634	0.634
		11	107	0.000	0.499	0.000	0.000	0.628	0.628
		12	108	0.000	0.519	0.000	0.000	0.622	0.622
		13	109	0.000	0.499	0.000	0.000	0.616	0.616
		14	110	0.000	0.484	0.000	0.000	0.610	0.610
		15	111	0.000	0.470	0.000	0.000	0.604	0.604
		16	112	0.000	0.460	0.000	0.000	0.597	0.597
		17	113	0.000	0.460	0.000	0.000	0.591	0.591
		18	114	0.000	0.455	0.000	0.000	0.584	0.584
		19	115	0.000	0.441	0.000	0.000	0.578	0.578
		20	116	0.000	0.437	0.000	0.000	0.571	0.571
		21	117	0.000	0.427	0.000	0.000	0.565	0.565
		22	118	0.000	0.418	0.000	0.000	0.558	0.558
		23	119	0.000	0.405	0.000	0.000	0.552	0.552
		24	120	0.000	0.400	0.000	0.000	0.545	0.545
9	15	1	121	0.000	0.396	0.000	0.000	0.538	0.538
		2	122	0.000	0.383	0.000	0.000	0.532	0.532
		3	123	0.000	0.370	0.000	0.000	0.525	0.525
		4	124	0.000	0.362	0.000	0.000	0.518	0.518
		5	125	0.000	0.362	0.000	0.000	0.512	0.512
		6	126	0.000	0.353	0.000	0.000	0.505	0.505
		7	127	0.000	0.357	0.000	0.000	0.498	0.498
		8	128	0.000	0.353	0.000	0.000	0.492	0.492
		9	129	0.000	0.341	0.000	0.000	0.485	0.485
		10	130	0.000	0.330	0.000	0.000	0.478	0.478
		11	131	0.000	0.321	0.000	0.000	0.472	0.472
		12	132	0.000	0.321	0.000	0.000	0.465	0.465
		13	133	0.000	0.317	0.000	0.000	0.459	0.459
		14	134	0.000	0.309	0.000	0.000	0.452	0.452
		15	135	0.000	0.305	0.000	0.000	0.446	0.446
		16	136	0.000	0.305	0.000	0.000	0.440	0.440
		17	137	0.000	0.298	0.000	0.000	0.433	0.433
		18	138	0.000	0.294	0.000	0.000	0.427	0.427
		19	139	0.000	0.275	0.000	0.000	0.421	0.421
		20	140	0.000	0.268	0.000	0.000	0.415	0.415
		21	141	0.000	0.268	0.000	0.000	0.408	0.408
		22	142	0.000	0.264	0.000	0.000	0.402	0.402
		23	143	0.000	0.264	0.000	0.000	0.396	0.396
		24	144	0.000	0.257	0.000	0.000	0.390	0.390

表－5　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型非線形貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による再現計算結果(1)　(湧別川・丸瀬布　H13. 9. 11)

単位:(mm/h)

流域面積: 802.0 (km^2)						平均雨量強度: 2.74 (mm/h)			
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	10	1	1	0.000	0.042	0.042	0.041	0.000	0.042
		2	2	0.000	0.042	0.042	0.041	0.000	0.042
		3	3	0.000	0.042	0.042	0.041	0.000	0.042
		4	4	0.000	0.041	0.042	0.040	0.000	0.042
		5	5	0.000	0.041	0.041	0.040	0.000	0.042
		6	6	0.000	0.041	0.041	0.040	0.001	0.041
		7	7	0.000	0.041	0.040	0.039	0.001	0.041
		8	8	0.000	0.041	0.040	0.039	0.001	0.041
		9	9	0.000	0.041	0.039	0.038	0.001	0.040
		10	10	0.000	0.041	0.039	0.037	0.001	0.040
		11	11	0.000	0.041	0.038	0.037	0.002	0.040
		12	12	0.000	0.041	0.037	0.036	0.002	0.039
		13	13	0.100	0.039	0.037	0.036	0.002	0.039
		14	14	0.340	0.039	0.036	0.035	0.002	0.039
		15	15	0.000	0.041	0.036	0.035	0.003	0.039
		16	16	0.650	0.041	0.036	0.035	0.003	0.039
		17	17	4.070	0.042	0.039	0.038	0.003	0.042
		18	18	3.450	0.044	0.046	0.045	0.004	0.050
		19	19	4.050	0.048	0.058	0.057	0.004	0.062
		20	20	2.120	0.056	0.075	0.073	0.004	0.079
		21	21	3.050	0.073	0.096	0.094	0.005	0.101
		22	22	3.090	0.085	0.124	0.120	0.005	0.129
		23	23	8.100	0.195	0.164	0.159	0.006	0.170
		24	24	7.510	0.300	0.226	0.219	0.006	0.232
9	11	1	25	6.380	0.460	0.310	0.301	0.007	0.317
		2	26	6.200	0.670	0.417	0.405	0.008	0.425
		3	27	4.500	0.912	0.544	0.528	0.009	0.553
		4	28	5.090	1.048	0.686	0.666	0.010	0.697
		5	29	5.770	1.163	0.845	0.820	0.012	0.857
		6	30	5.180	1.238	1.018	0.987	0.015	1.032
		7	31	5.380	1.292	1.200	1.164	0.018	1.217
		8	32	5.900	1.371	1.390	1.348	0.021	1.411
		9	33	4.860	1.511	1.582	1.534	0.026	1.608
		10	34	3.430	1.666	1.760	1.708	0.031	1.792
		11	35	4.000	1.857	1.919	1.862	0.038	1.957
		12	36	4.820	1.980	2.063	2.001	0.045	2.108
		13	37	6.890	2.048	2.203	2.138	0.054	2.257
		14	38	6.550	2.157	2.347	2.277	0.063	2.410
		15	39	6.390	2.290	2.489	2.414	0.074	2.563
		16	40	1.360	2.491	2.597	2.519	0.086	2.683
		17	41	1.100	2.734	2.646	2.567	0.099	2.745
		18	42	1.270	2.791	2.643	2.565	0.113	2.757
		19	43	2.160	2.899	2.605	2.527	0.129	2.733
		20	44	2.430	2.816	2.543	2.467	0.145	2.688
		21	45	3.000	2.735	2.470	2.396	0.162	2.632
		22	46	1.360	2.643	2.382	2.311	0.180	2.563
		23	47	2.700	2.486	2.285	2.217	0.199	2.484
		24	48	1.950	2.356	2.186	2.121	0.218	2.404
9	12	1	49	1.000	2.260	2.078	2.016	0.237	2.316
		2	50	1.160	2.125	1.964	1.905	0.257	2.221
		3	51	0.650	2.075	1.845	1.790	0.277	2.122
		4	52	0.360	1.985	1.723	1.672	0.297	2.020
		5	53	1.100	1.869	1.603	1.555	0.317	1.919
		6	54	0.650	1.812	1.488	1.443	0.337	1.824
		7	55	1.190	1.756	1.380	1.339	0.356	1.736
		8	56	1.550	1.682	1.284	1.245	0.375	1.659
		9	57	0.950	1.620	1.197	1.161	0.394	1.590
		10	58	1.160	1.549	1.117	1.084	0.412	1.529
		11	59	1.360	1.515	1.046	1.015	0.430	1.476
		12	60	0.680	1.497	0.982	0.953	0.447	1.429
		13	61	1.000	1.463	0.923	0.895	0.464	1.386
		14	62	0.710	1.446	0.868	0.843	0.480	1.348
		15	63	0.650	1.396	0.818	0.794	0.495	1.313
		16	64	0.160	1.323	0.770	0.747	0.510	1.279
		17	65	0.000	1.299	0.722	0.701	0.524	1.246
		18	66	0.710	1.228	0.677	0.657	0.537	1.215
		19	67	0.000	1.244	0.636	0.617	0.550	1.186
		20	68	0.200	1.221	0.596	0.578	0.562	1.158
		21	69	0.000	1.190	0.557	0.541	0.573	1.131
		22	70	0.100	1.130	0.521	0.506	0.584	1.105
		23	71	0.070	1.160	0.487	0.472	0.594	1.081
		24	72	0.000	1.049	0.455	0.441	0.604	1.058

表－5　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型非線形貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による再現計算結果(2)　　(湧別川・丸瀬布　H13. 9. 11)

単位:(mm/h)

流域面積: 802.0 (km^2)						平均雨量強度: 2.74 (mm/h)			
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高	再現地下水	再現全流出高
9	13	1	73	0.000	1.014	0.424	0.412	0.612	1.037
		2	74	0.000	1.007	0.396	0.384	0.621	1.016
		3	75	0.000	0.951	0.369	0.358	0.628	0.997
		4	76	0.000	0.911	0.344	0.334	0.635	0.979
		5	77	0.000	0.931	0.321	0.312	0.641	0.962
		6	78	0.000	0.885	0.300	0.291	0.647	0.947
		7	79	0.000	0.898	0.280	0.272	0.652	0.932
		8	80	0.000	0.911	0.262	0.254	0.656	0.918
		9	81	0.000	0.871	0.245	0.238	0.660	0.905
		10	82	0.000	0.885	0.229	0.222	0.663	0.893
		11	83	0.000	0.871	0.215	0.208	0.666	0.881
		12	84	0.000	0.852	0.201	0.195	0.669	0.870
		13	85	0.000	0.846	0.189	0.183	0.670	0.859
		14	86	0.000	0.801	0.178	0.172	0.672	0.849
		15	87	0.000	0.795	0.167	0.162	0.673	0.840
		16	88	0.000	0.770	0.157	0.153	0.673	0.831
		17	89	0.000	0.734	0.149	0.144	0.673	0.822
		18	90	0.000	0.728	0.140	0.136	0.673	0.813
		19	91	0.000	0.740	0.133	0.129	0.672	0.804
		20	92	0.000	0.704	0.125	0.122	0.671	0.796
		21	93	0.000	0.675	0.119	0.115	0.669	0.788
		22	94	0.000	0.698	0.113	0.109	0.667	0.780
		23	95	0.000	0.681	0.107	0.104	0.665	0.772
		24	96	0.000	0.652	0.102	0.099	0.663	0.764
9	14	1	97	0.000	0.687	0.097	0.094	0.660	0.757
		2	98	0.000	0.641	0.092	0.089	0.657	0.749
		3	99	0.000	0.635	0.088	0.085	0.654	0.741
		4	100	0.000	0.641	0.084	0.081	0.650	0.734
		5	101	0.000	0.602	0.080	0.078	0.646	0.726
		6	102	0.000	0.581	0.077	0.074	0.642	0.719
		7	103	0.000	0.586	0.073	0.071	0.638	0.711
		8	104	0.000	0.565	0.070	0.068	0.634	0.704
		9	105	0.000	0.560	0.067	0.065	0.629	0.696
		10	106	0.000	0.539	0.065	0.063	0.624	0.689
		11	107	0.000	0.499	0.062	0.060	0.619	0.681
		12	108	0.000	0.519	0.060	0.058	0.614	0.674
		13	109	0.000	0.499	0.058	0.056	0.609	0.666
		14	110	0.000	0.484	0.055	0.054	0.604	0.659
		15	111	0.000	0.470	0.053	0.052	0.598	0.651
		16	112	0.000	0.460	0.051	0.050	0.592	0.644
		17	113	0.000	0.460	0.050	0.048	0.587	0.636
		18	114	0.000	0.455	0.048	0.047	0.581	0.629
		19	115	0.000	0.441	0.046	0.045	0.575	0.621
		20	116	0.000	0.437	0.045	0.043	0.569	0.614
		21	117	0.000	0.427	0.043	0.042	0.563	0.607
		22	118	0.000	0.418	0.042	0.041	0.557	0.599
		23	119	0.000	0.405	0.041	0.039	0.551	0.592
		24	120	0.000	0.400	0.039	0.038	0.545	0.584
9	15	1	121	0.000	0.396	0.038	0.037	0.539	0.577
		2	122	0.000	0.383	0.037	0.036	0.532	0.569
		3	123	0.000	0.370	0.036	0.035	0.526	0.562
		4	124	0.000	0.362	0.035	0.034	0.520	0.555
		5	125	0.000	0.362	0.034	0.033	0.513	0.547
		6	126	0.000	0.353	0.033	0.032	0.507	0.540
		7	127	0.000	0.357	0.032	0.031	0.501	0.533
		8	128	0.000	0.353	0.031	0.030	0.494	0.526
		9	129	0.000	0.341	0.030	0.030	0.488	0.518
		10	130	0.000	0.330	0.030	0.029	0.482	0.511
		11	131	0.000	0.321	0.029	0.028	0.475	0.504
		12	132	0.000	0.321	0.028	0.027	0.469	0.497
		13	133	0.000	0.317	0.027	0.027	0.463	0.490
		14	134	0.000	0.309	0.027	0.026	0.457	0.483
		15	135	0.000	0.305	0.026	0.025	0.450	0.476
		16	136	0.000	0.305	0.025	0.025	0.444	0.470
		17	137	0.000	0.298	0.025	0.024	0.438	0.463
		18	138	0.000	0.294	0.024	0.024	0.432	0.456
		19	139	0.000	0.275	0.024	0.023	0.426	0.449
		20	140	0.000	0.268	0.023	0.022	0.420	0.443
		21	141	0.000	0.268	0.023	0.022	0.414	0.436
		22	142	0.000	0.264	0.022	0.021	0.408	0.430
		23	143	0.000	0.264	0.022	0.021	0.402	0.423
		24	144	0.000	0.257	0.021	0.021	0.396	0.417

標津川・合流地点における洪水資料について、全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型貯留関数モデルの各種最適化計算結果を**表－6**、**表－7** 及び**図－6**、**図－7** に示す。

線形モデルに比べ非線形モデルは、ハイドログラフ全体の再現性が良い。線形モデルについては、ピーク流量が小さく再現され、減衰部についても非線形モデルの方が実測値に近い値となっている。

また、一階ニュートン法とダビドン法による最適化結果に差異は見られない。一階ニュートン法による 2 段タンク型線形・非線形貯留関数モデルの計算結果を**表－8**、**表－9** に示す。

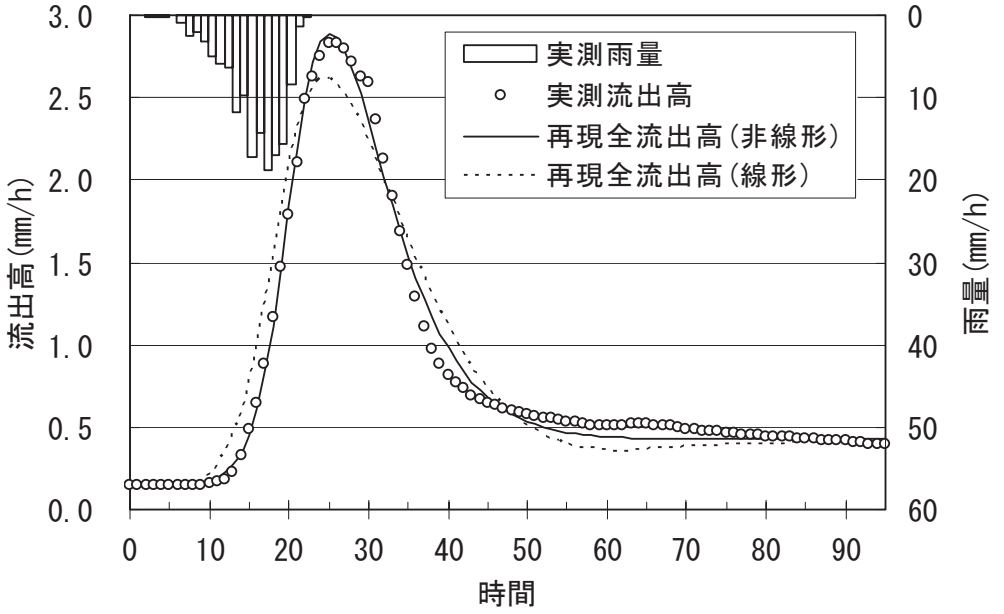
文責　宮武　真由子

表－6　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型貯留関数モデルの最適化結果の比較
（標津川・合流点　H10.9.16）

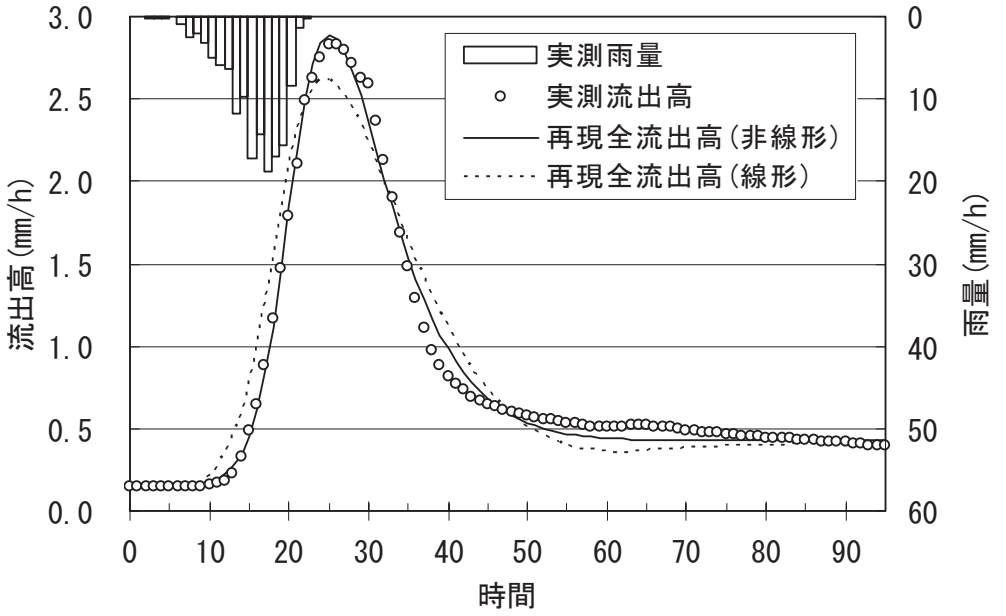
	2段タンク型貯留関数モデル			
	線形	線形	非線形	非線形
最適化手法	一階ニュートン法	ダビドン法	一階ニュートン法	ダビドン法
収束回数	7	9	8	8
k_{11}	35.182	35.209	54.631	54.636
k_{12}	168.337	168.594	433.858	433.933
c_{11}	2.626	2.628	11.514	11.515
c_{12}	0.136	0.136	0.244	0.244
c_{13}	2.619	2.619	2.721	2.721
RMSE (mm/h)	0.161	0.161	0.070	0.070
KAI2 (mm/h)	0.033	0.033	0.006	0.006
J_{pe}	0.074	0.075	0.019	0.019
J_{re}	0.187	0.187	0.074	0.074
E_w	0.067	0.067	0.009	0.009
E	0.003	0.003	0.001	0.001
E_v	0.007	0.006	0.010	0.010
E_p	0.074	0.075	−0.019	−0.019

表－7　最適化パラメータにおける観測値と計算値の比較　（標津川・合流点　H10.9.16）

	2段タンク型貯留関数モデル			
	線形	線形	非線形	非線形
最適化手法	一階ニュートン法	ダビドン法	一階ニュートン法	ダビドン法
観測総流出高 (mm)	77.849	77.849	77.849	77.849
計算総流出高 (mm)	77.342	77.351	77.082	77.088
観測流量ピーク値 (m^3/s)	516.300	516.300	516.300	516.300
計算流量ピーク値 (m^3/s)	477.983	477.785	525.944	525.869



図－6　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型線形・非線形貯留関数モデル(1 階ニュートン法)の全流出高再現結果の比較　　(標津川・合流点　H10.9.16)



図－7　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型線形・非線形貯留関数モデル(ダビドン法)の全流出高再現結果の比較　　(標津川・合流点　H10.9.16)

表－8　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型線形貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による再現計算結果(1)　(標津川・合流点　H10.9.16)

単位:(mm/h)

流域面積: 657.0 (km^2)						平均雨量強度: 7.07 (mm/h)			
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高
9	10	1	1	0.000	0.148	0.147	0.238	0.000	0.147
		2	2	0.000	0.148	0.144	0.233	0.000	0.144
		3	3	0.220	0.148	0.140	0.227	0.000	0.141
		4	4	0.260	0.144	0.137	0.221	0.000	0.137
		5	5	0.220	0.144	0.133	0.215	0.001	0.134
		6	6	0.000	0.144	0.129	0.208	0.001	0.130
		7	7	0.910	0.144	0.126	0.204	0.001	0.127
		8	8	2.400	0.148	0.131	0.212	0.002	0.132
		9	9	2.090	0.148	0.145	0.235	0.002	0.147
		10	10	3.270	0.152	0.169	0.273	0.002	0.171
		11	11	5.070	0.161	0.208	0.337	0.003	0.211
		12	12	5.850	0.169	0.267	0.432	0.003	0.270
		13	13	6.240	0.182	0.343	0.555	0.004	0.346
		14	14	11.850	0.230	0.448	0.726	0.004	0.453
		15	15	9.660	0.324	0.585	0.947	0.005	0.590
		16	16	17.320	0.485	0.760	1.231	0.006	0.767
		17	17	14.290	0.651	0.976	1.580	0.007	0.984
		18	18	18.860	0.885	1.227	1.986	0.009	1.236
		19	19	16.980	1.164	1.509	2.442	0.011	1.519
		20	20	15.660	1.472	1.803	2.918	0.013	1.816
		21	21	8.440	1.788	2.081	3.368	0.016	2.097
		22	22	1.410	2.106	2.303	3.727	0.019	2.322
		23	23	0.310	2.492	2.455	3.974	0.024	2.479
		24	24	0.000	2.624	2.546	4.120	0.028	2.574
9	11	1	25	0.000	2.748	2.583	4.181	0.034	2.617
		2	26	0.000	2.829	2.578	4.172	0.040	2.618
		3	27	0.000	2.829	2.538	4.107	0.047	2.585
		4	28	0.000	2.794	2.469	3.996	0.055	2.524
		5	29	0.000	2.714	2.379	3.851	0.063	2.442
		6	30	0.000	2.624	2.273	3.679	0.071	2.344
		7	31	0.000	2.591	2.155	3.488	0.080	2.235
		8	32	0.000	2.363	2.029	3.284	0.090	2.119
		9	33	0.000	2.126	1.898	3.073	0.100	1.998
		10	34	0.000	1.901	1.766	2.858	0.110	1.875
		11	35	0.000	1.688	1.634	2.644	0.120	1.753
		12	36	0.000	1.480	1.503	2.433	0.130	1.634
		13	37	0.000	1.286	1.377	2.228	0.141	1.517
		14	38	0.000	1.105	1.255	2.030	0.151	1.406
		15	39	0.000	0.979	1.138	1.842	0.162	1.300
		16	40	0.000	0.879	1.027	1.662	0.172	1.200
		17	41	0.000	0.816	0.923	1.494	0.183	1.106
		18	42	0.000	0.766	0.826	1.336	0.193	1.019
		19	43	0.000	0.731	0.735	1.189	0.203	0.938
		20	44	0.000	0.696	0.651	1.054	0.213	0.864
		21	45	0.000	0.673	0.574	0.929	0.223	0.797
		22	46	0.000	0.651	0.503	0.814	0.233	0.736
		23	47	0.000	0.628	0.439	0.710	0.242	0.681
		24	48	0.000	0.612	0.380	0.615	0.251	0.631
9	12	1	49	0.000	0.596	0.327	0.530	0.260	0.587
		2	50	0.000	0.586	0.280	0.453	0.268	0.548
		3	51	0.000	0.575	0.238	0.385	0.277	0.514
		4	52	0.000	0.565	0.200	0.323	0.284	0.484
		5	53	0.000	0.554	0.166	0.269	0.292	0.458
		6	54	0.000	0.549	0.137	0.222	0.299	0.436
		7	55	0.000	0.539	0.111	0.180	0.306	0.417
		8	56	0.000	0.534	0.089	0.143	0.313	0.402
		9	57	0.000	0.529	0.069	0.112	0.319	0.388
		10	58	0.000	0.519	0.052	0.085	0.326	0.378
		11	59	0.000	0.514	0.038	0.061	0.331	0.369
		12	60	0.000	0.514	0.026	0.041	0.337	0.362
		13	61	0.000	0.514	0.015	0.025	0.342	0.357
		14	62	0.000	0.514	0.007	0.011	0.347	0.354
		15	63	0.000	0.514	0.000	0.000	0.352	0.352
		16	64	0.000	0.519	0.000	0.000	0.356	0.356
		17	65	0.000	0.519	0.000	0.000	0.360	0.360
		18	66	0.000	0.519	0.000	0.000	0.364	0.364
		19	67	0.000	0.514	0.000	0.000	0.368	0.368
		20	68	0.000	0.509	0.000	0.000	0.372	0.372
		21	69	0.000	0.504	0.000	0.000	0.375	0.375
		22	70	0.000	0.494	0.000	0.000	0.378	0.378
		23	71	0.000	0.490	0.000	0.000	0.381	0.381
		24	72	0.000	0.485	0.000	0.000	0.383	0.383

表－8　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型線形貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による再現計算結果(2)　　(標津川・合流点　H10.9.16)

単位:(mm/h)

流域面積: 657.0 (km^2)						平均雨量強度: 7.07 (mm/h)			
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高
9	13	1	73	0.000	0.480	0.000	0.000	0.386	0.386
		2	74	0.000	0.475	0.000	0.000	0.388	0.388
		3	75	0.000	0.470	0.000	0.000	0.390	0.390
		4	76	0.000	0.466	0.000	0.000	0.392	0.392
		5	77	0.000	0.461	0.000	0.000	0.394	0.394
		6	78	0.000	0.456	0.000	0.000	0.396	0.396
		7	79	0.000	0.456	0.000	0.000	0.397	0.397
		8	80	0.000	0.452	0.000	0.000	0.398	0.398
		9	81	0.000	0.447	0.000	0.000	0.400	0.400
		10	82	0.000	0.447	0.000	0.000	0.401	0.401
		11	83	0.000	0.443	0.000	0.000	0.402	0.402
		12	84	0.000	0.438	0.000	0.000	0.402	0.402
		13	85	0.000	0.433	0.000	0.000	0.403	0.403
		14	86	0.000	0.429	0.000	0.000	0.404	0.404
		15	87	0.000	0.429	0.000	0.000	0.404	0.404
		16	88	0.000	0.424	0.000	0.000	0.404	0.404
		17	89	0.000	0.421	0.000	0.000	0.405	0.405
		18	90	0.000	0.421	0.000	0.000	0.405	0.405
		19	91	0.000	0.414	0.000	0.000	0.405	0.405
		20	92	0.000	0.407	0.000	0.000	0.405	0.405
		21	93	0.000	0.407	0.000	0.000	0.405	0.405
		22	94	0.000	0.400	0.000	0.000	0.405	0.405
		23	95	0.000	0.400	0.000	0.000	0.404	0.404
		24	96	0.000	0.394	0.000	0.000	0.404	0.404

表－9　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型非線形貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による再現計算結果(1)　　(標津川・合流点　H10.9.16)

単位:(mm/h)

流域面積: 657.0 (km^2)						平均雨量強度: 7.07 (mm/h)			
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高
9	10	1	1	0.000	0.148	0.148	0.254	0.000	0.148
		2	2	0.000	0.148	0.147	0.253	0.000	0.147
		3	3	0.220	0.148	0.146	0.250	0.000	0.146
		4	4	0.260	0.144	0.144	0.248	0.000	0.145
		5	5	0.220	0.144	0.143	0.245	0.001	0.143
		6	6	0.000	0.144	0.141	0.242	0.001	0.142
		7	7	0.910	0.144	0.139	0.240	0.001	0.141
		8	8	2.400	0.148	0.140	0.241	0.002	0.142
		9	9	2.090	0.148	0.144	0.248	0.002	0.146
		10	10	3.270	0.152	0.151	0.260	0.002	0.154
		11	11	5.070	0.161	0.165	0.283	0.003	0.167
		12	12	5.850	0.169	0.186	0.320	0.003	0.189
		13	13	6.240	0.182	0.217	0.374	0.004	0.221
		14	14	11.850	0.230	0.266	0.457	0.004	0.270
		15	15	9.660	0.324	0.338	0.581	0.005	0.343
		16	16	17.320	0.485	0.445	0.766	0.006	0.451
		17	17	14.290	0.651	0.601	1.034	0.007	0.607
		18	18	18.860	0.885	0.815	1.402	0.008	0.823
		19	19	16.980	1.164	1.100	1.892	0.009	1.109
		20	20	15.660	1.472	1.450	2.495	0.011	1.461
		21	21	8.440	1.788	1.836	3.160	0.013	1.849
		22	22	1.410	2.106	2.197	3.780	0.015	2.212
		23	23	0.310	2.492	2.486	4.278	0.019	2.505
		24	24	0.000	2.624	2.690	4.629	0.023	2.713

表－9　全流出量の感度係数を用いた 2 段タンク型非線形貯留関数モデル(1 階ニュートン法)による再現計算結果(2)　(標津川・合流点　H10.9.16)

単位:(mm/h)

流域面積: 657.0 (km^2)						平均雨量強度: 7.07 (mm/h)			
月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流出高	分離地下水	分離表面・中間流出高	再現表面・中間流出高	浸透供給高
9	11	1	25	0.000	2.748	2.809	4.833	0.028	2.836
		2	26	0.000	2.829	2.848	4.901	0.033	2.882
		3	27	0.000	2.829	2.820	4.853	0.040	2.860
		4	28	0.000	2.794	2.737	4.710	0.047	2.784
		5	29	0.000	2.714	2.613	4.496	0.055	2.667
		6	30	0.000	2.624	2.459	4.232	0.063	2.522
		7	31	0.000	2.591	2.288	3.937	0.072	2.360
		8	32	0.000	2.363	2.108	3.627	0.081	2.189
		9	33	0.000	2.126	1.927	3.315	0.091	2.018
		10	34	0.000	1.901	1.749	3.010	0.101	1.850
		11	35	0.000	1.688	1.579	2.718	0.111	1.691
		12	36	0.000	1.480	1.420	2.444	0.122	1.542
		13	37	0.000	1.286	1.273	2.190	0.132	1.405
		14	38	0.000	1.105	1.138	1.958	0.143	1.281
		15	39	0.000	0.979	1.016	1.748	0.153	1.169
		16	40	0.000	0.879	0.905	1.558	0.164	1.069
		17	41	0.000	0.816	0.807	1.388	0.174	0.981
		18	42	0.000	0.766	0.719	1.237	0.184	0.903
		19	43	0.000	0.731	0.641	1.103	0.194	0.835
		20	44	0.000	0.696	0.572	0.984	0.204	0.776
		21	45	0.000	0.673	0.511	0.879	0.213	0.724
		22	46	0.000	0.651	0.457	0.786	0.223	0.680
		23	47	0.000	0.628	0.409	0.704	0.232	0.641
		24	48	0.000	0.612	0.367	0.632	0.240	0.608
9	12	1	49	0.000	0.596	0.330	0.569	0.249	0.579
		2	50	0.000	0.586	0.298	0.512	0.257	0.555
		3	51	0.000	0.575	0.269	0.463	0.265	0.534
		4	52	0.000	0.565	0.243	0.419	0.273	0.516
		5	53	0.000	0.554	0.221	0.380	0.280	0.501
		6	54	0.000	0.549	0.201	0.346	0.288	0.489
		7	55	0.000	0.539	0.183	0.315	0.294	0.478
		8	56	0.000	0.534	0.168	0.288	0.301	0.469
		9	57	0.000	0.529	0.154	0.264	0.307	0.461
		10	58	0.000	0.519	0.141	0.243	0.314	0.455
		11	59	0.000	0.514	0.130	0.224	0.319	0.449
		12	60	0.000	0.514	0.120	0.206	0.325	0.445
		13	61	0.000	0.514	0.111	0.191	0.330	0.441
		14	62	0.000	0.514	0.103	0.177	0.336	0.438
		15	63	0.000	0.514	0.096	0.165	0.340	0.436
		16	64	0.000	0.519	0.089	0.153	0.345	0.434
		17	65	0.000	0.519	0.083	0.143	0.350	0.433
		18	66	0.000	0.519	0.078	0.134	0.354	0.432
		19	67	0.000	0.514	0.073	0.126	0.358	0.431
		20	68	0.000	0.509	0.069	0.118	0.362	0.430
		21	69	0.000	0.504	0.065	0.111	0.365	0.430
		22	70	0.000	0.494	0.061	0.105	0.369	0.430
		23	71	0.000	0.490	0.058	0.099	0.372	0.430
		24	72	0.000	0.485	0.055	0.094	0.375	0.430
9	13	1	73	0.000	0.480	0.052	0.089	0.378	0.430
		2	74	0.000	0.475	0.049	0.085	0.381	0.430
		3	75	0.000	0.470	0.047	0.081	0.383	0.430
		4	76	0.000	0.466	0.045	0.077	0.385	0.430
		5	77	0.000	0.461	0.043	0.073	0.388	0.430
		6	78	0.000	0.456	0.041	0.070	0.390	0.430
		7	79	0.000	0.456	0.039	0.067	0.392	0.431
		8	80	0.000	0.452	0.037	0.064	0.393	0.431
		9	81	0.000	0.447	0.036	0.062	0.395	0.431
		10	82	0.000	0.447	0.034	0.059	0.397	0.431
		11	83	0.000	0.443	0.033	0.057	0.398	0.431
		12	84	0.000	0.438	0.032	0.055	0.399	0.431
		13	85	0.000	0.433	0.031	0.053	0.400	0.431
		14	86	0.000	0.429	0.030	0.051	0.401	0.431
		15	87	0.000	0.429	0.029	0.049	0.402	0.431
		16	88	0.000	0.424	0.028	0.048	0.403	0.431
		17	89	0.000	0.421	0.027	0.046	0.404	0.430
		18	90	0.000	0.421	0.026	0.045	0.404	0.430
		19	91	0.000	0.414	0.025	0.043	0.405	0.430
		20	92	0.000	0.407	0.024	0.042	0.405	0.430
		21	93	0.000	0.407	0.024	0.041	0.406	0.429
		22	94	0.000	0.400	0.023	0.039	0.406	0.429
		23	95	0.000	0.400	0.022	0.038	0.406	0.428
		24	96	0.000	0.394	0.022	0.037	0.406	0.428

第 12 回　流出解析ゼミ

― 1 段・2 段タンク型非線形貯留関数モデルの総合化 ―

[問題]

湧別川における既往 32 洪水例につき同定されたモデル定数を用いて、次の問に答えよ。

(1)1 段タンク型非線形貯留関数モデルに関して、次表に示されるモデル定数 c_{11}，c_{12} 及び c_{13}（$c_{13} \geq 1$）の値を計算せよ。

1 段タンク型非線形貯留関数モデル

モデル定数	平均値－標準偏差 $\mu-\sigma$	平均値 μ	平均値＋標準偏差 $\mu+\sigma$
c_{11}			
c_{12}			
c_{13}			

平成 13 年 9 月洪水時の丸瀬布地点の実測降雨資料を用いて、2 個のモデル定数を平均値に固定して、もう 1 個の定数を(平均値－標準偏差)、平均値、(平均値＋標準偏差)に変化させたときのハイドログラフの形状がどのように変動するかの感度分析を行え。なお、基底流出成分における減数係数 λ は、流域平均値の λ = 0.014 を用いよ。

(2)上表に示されるそれぞれのモデル定数に関して、(平均値－標準偏差)、平均値、(平均値＋標準偏差)に設定した 3 ケースについて、計算ハイドログラフを求め、丸瀬布地点の実測ハイドログラフとの適合度を**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の精度指標を用いて比較・検討せよ。

(3)湧別川の洪水解析事例をもとに、2 段タンク型非線形貯留関数モデルに関しても、設問(1)と(2)と同じ計算を行え。なお、分離時定数 T_c は、流域平均値の T_c = 75.8、計算非振動条件の δ は、δ =2.1 とせよ。

(4)仮に、湧別川の中小河川において流量観測値が得られていないと想定した場合、1・2 段タンク型非線形貯留関数モデルを用いて、洪水ハイドログラフの推定を行う場合、モデル定数をどのように選定したらよいかの考え方を述べよ。

[解答](1)～(3)

湧別川水系において既往 32 洪水事例により同定された、**「1 段タンク型非線形貯留関数モデル」**及び**「2 段タンク型非線形貯留関数モデル」**のモデル定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}について、(平均値－標準偏差)($\mu-\sigma$)、平均値μ、(平均値＋標準偏差)($\mu+\sigma$)の値を**表－15** 及び**表－16** に示す。

表－15　1 段タンク型非線形貯留関数モデル

モデル定数	平均値－標準偏差 $\mu-\sigma$	平均値 μ	平均値＋標準偏差 $\mu+\sigma$
c_{11}	7.938	10.157	12.376
c_{12}	0.109	0.181	0.253
c_{13}	1.149	1.438	1.727

表－16　2 段タンク型非線形貯留関数モデル

モデル定数	平均値－標準偏差 $\mu-\sigma$	平均値 μ	平均値＋標準偏差 $\mu+\sigma$
c_{11}	5.512	7.463	9.414
c_{12}	0.203	0.384	0.565
c_{13}	1.674	2.139	2.604

表－15 及び**表－16** の値を用いて、**「1 段タンク型非線形貯留関数モデル」**及び**「2 段タンク型非線形貯留関数モデル」**のそれぞれについて、モデル定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}の内、2 つを平均値μに固定し、残りの 1 つを($\mu-\sigma$)、μ及び($\mu+\sigma$)に変化させたときのハイドログラフの形状について感度分析した結果を**図－17** 及び**図－18** に示す。

1 段タンクモデルと、2 段タンクモデルともc_{11}を変化させた場合、c_{11}の値が($\mu_{11}-\sigma_{11}$)のときは、ピーク生起時刻がμ_{11}のときに比べ早くなり、ピーク流量は大きくなってハイドログラフの形状は尖鋭化する。また、c_{11}の値が($\mu_{11}+\sigma_{11}$)のときは、ピーク生起時刻がμ_{11}のときに比べ遅くなり、ピーク流量は小さくなる。

c_{12}を変化させた場合、c_{12}の値が($\mu_{12}-\sigma_{12}$)のときは、ピーク生起時刻がμ_{12}のときに比べ早くなり、($\mu_{12}+\sigma_{12}$)のときはμ_{12}のときに比べ遅くなる。ピーク流量及び流量ボリュームの差は見られない。

c_{13}を変化させた場合、c_{13}の値が($\mu_{13}-\sigma_{13}$)のときは、ピーク流量及び流量ボリュームがμ_{13}のときに比べ大きくなり、c_{13}の値が($\mu_{13}+\sigma_{13}$)のときは、ピーク流量及び流量ボリュームがμ_{13}のときに比べ小さくなる。ピーク生起時刻については、顕著な差異は見られない。

「1 段タンク型非線形貯留関数モデル」について、モデル定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}をそれぞれ、($\mu-\sigma$)、μ、($\mu+\sigma$)に設定したときの湧別川・丸瀬布地点における実績洪水資料との適合度及び再現計算結果を**表－17** 及び**図－19** に示す。

モデル定数が($\mu-\sigma$)のときは、実測値に比べピーク生起時刻が早くなり、ピーク流量及び流出ボリュームは大きくなる。また、モデル定数が($\mu+\sigma$)のときは、実測値に比べピーク生起時刻が遅く

なり、ピーク流量及び流出ボリュームは小さくなる。3 ケースとも実測値よりも早く減衰している。

この解析例においては、**表－17** に示すようにそれぞれのモデル定数を μ に設定したときに精度評価指標が最小となっている。

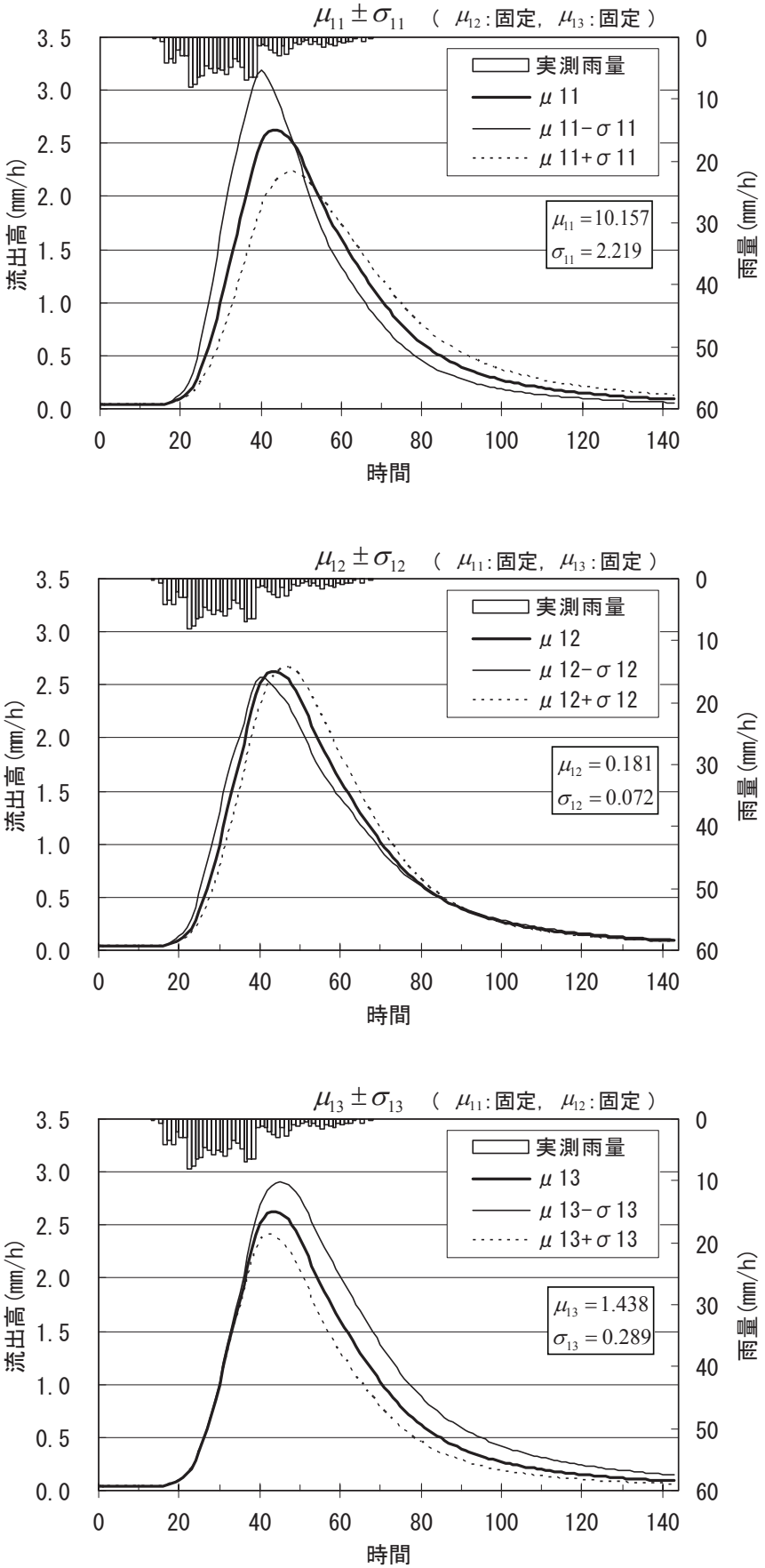
「2 段タンク型非線形貯留関数モデル」について、モデル定数 c_{11}，c_{12} 及び c_{13} をそれぞれ、$(\mu-\sigma)$、μ、$(\mu+\sigma)$ に設定したときの湧別川・丸瀬布地点における実績洪水資料との適合度及び再現計算結果を**表－18** 及び**図－20** に示す。

モデル定数が $(\mu-\sigma)$ のときは、実測値に比べピーク生起時刻が早くなり、ピーク流量及び流出ボリュームは大きくなる。また、モデル定数が $(\mu+\sigma)$ のときは、実測値に比べピーク生起時刻が遅くなり、ピーク流量及び流出ボリュームは小さくなる。3 ケースとも 1 段タンク型モデルに比べ緩やかに減衰しており、実測値に近い値になっている。

この解析例においては、**表－18** に示すようにそれぞれのモデル定数を μ に設定したときに精度評価指標が最小となっている。また、この精度評価指標は 1 段タンク型モデルのときよりも小さく、2 段タンク型モデルの方が精度よく再現していることが分かる。

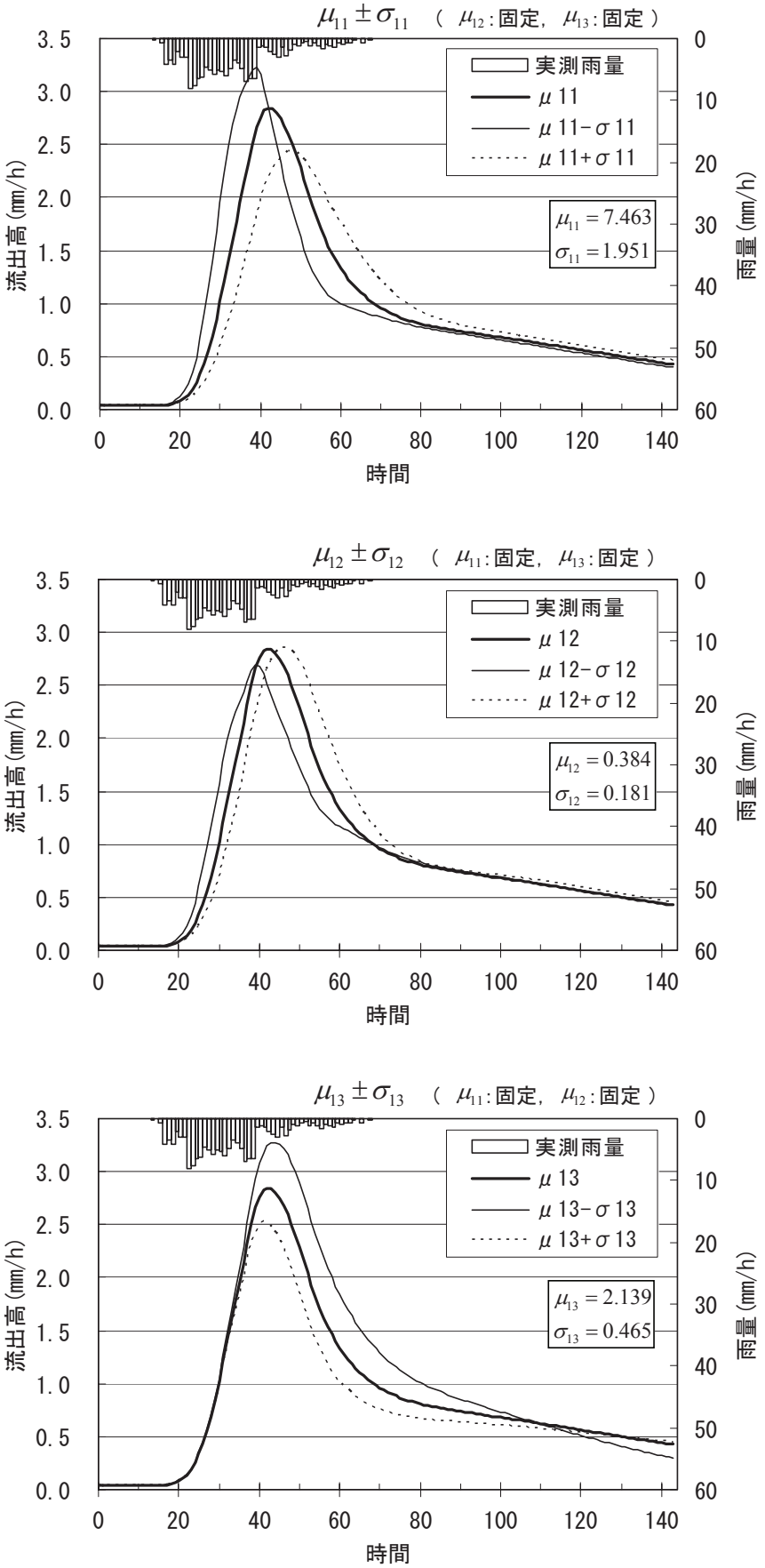
また、モデル定数 c_{11}，c_{12} 及び c_{13} をそれぞれ、$(\mu-\sigma)$、μ、$(\mu+\sigma)$ に設定したときの総流出高とピーク流量値の比較を**表－19** に示す。いずれのケースも、2 段タンク型モデルは 1 段タンク型モデルに比べ総流出量が大きく算出されている。これは、2 段タンク型モデルの減衰部が緩やかに減衰し、実測値に近かったためである。この解析例においては、2 段タンク型モデルで平均値 μ を使用した場合、計算総流出高及び計算ピーク流量値が実測値とほぼ同値であることが分かる。

上記の解析例では、丸瀬布地点で流量観測値が得られており、湧別川本川においても流量観測値が得られていない地点においては、モデル定数を平均値 μ に設定したとしても必ずしも良好な再現結果を得ることは出来ないことに注意する。



図－17　1 段タンク型モデルのモデル定数感度分析

湧別川・丸瀬布　H13.9.11 洪水

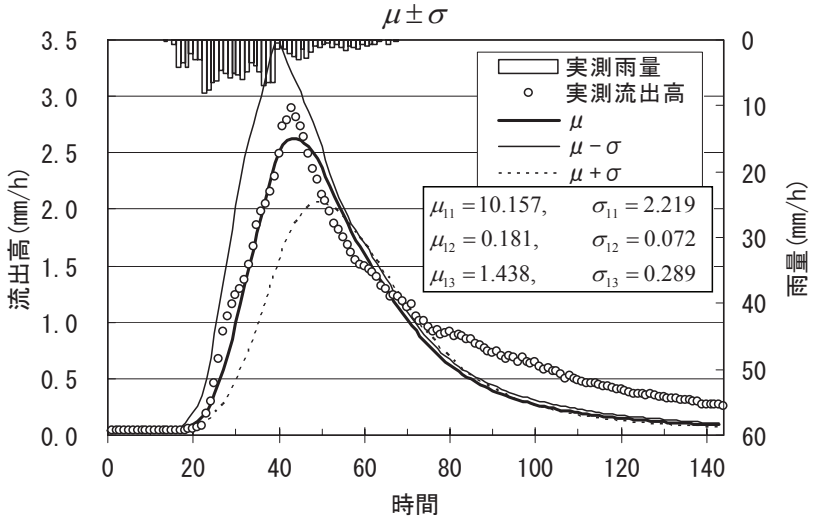


図－18　2 段タンク型モデルのモデル定数感度分析

湧別川・丸瀬布　H13.9.11 洪水

表－17　1 段タンク型モデルにおけるモデル定数の感度分析

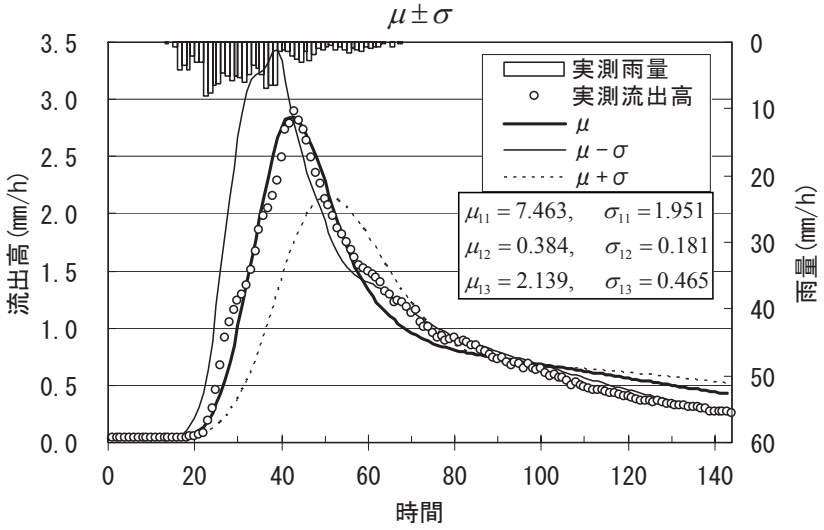
	1段タンク型非線形貯留関数モデル		
モデル定数	平均値－標準偏差 $\mu - \sigma$	平均値 μ	平均値＋標準偏差 $\mu + \sigma$
k_{11}	37.664	48.193	58.721
k_{12}	92.120	250.446	519.740
c_{11}	7.938	10.157	12.376
c_{12}	0.109	0.181	0.253
c_{13}	1.149	1.438	1.727
RMSE (mm/h)	0.350	0.228	0.411
KAI2 (mm/h)	0.111	0.080	0.147
J_{pe}	0.197	0.095	0.288
J_{re}	0.383	0.326	0.388
E_w	0.239	0.164	0.225
E	0.015	0.006	0.020
E_v	−0.049	0.158	0.288
E_p	−0.197	0.095	0.288



図－19　1 段タンク型モデルのモデル定数感度分析（湧別川・丸瀬布　H13.9.11 洪水）

表－18　2 段タンク型モデルにおけるモデル定数の感度分析

	2段タンク型非線形貯留関数モデル		
モデル定数	平均値－標準偏差 $\mu - \sigma$	平均値 μ	平均値＋標準偏差 $\mu + \sigma$
k_{11}	26.153	35.410	44.667
k_{12}	82.722	286.856	671.586
c_{11}	5.512	7.463	9.414
c_{12}	0.203	0.384	0.565
c_{13}	1.674	2.139	2.604
RMSE (mm/h)	0.394	0.148	0.425
KAI2 (mm/h)	0.115	0.034	0.134
J_{pe}	0.185	0.019	0.259
J_{re}	0.236	0.201	0.319
E_w	0.208	0.080	0.191
E	0.019	0.003	0.022
E_v	−0.177	−0.029	0.066
E_p	−0.185	0.019	0.259



図－20　2 段タンク型モデルのモデル定数感度分析（湧別川・丸瀬布　H13.9.11 洪水）

表－19　モデル定数の違いによる総流出高とピーク流量値の比較

	非線形貯留関数モデル					
モデル定数	平均値－標準偏差 $\mu-\sigma$		平均値 μ		平均値＋標準偏差 $\mu+\sigma$	
計算モデル	1段ﾀﾝｸ	2段ﾀﾝｸ	1段ﾀﾝｸ	2段ﾀﾝｸ	1段ﾀﾝｸ	2段ﾀﾝｸ
観測総流出高 (mm)	123.892	123.892	123.892	123.892	123.892	123.892
計算総流出高 (mm)	129.996	145.817	104.375	127.432	88.272	115.693
観測流量ピーク値 (m^3/s)	645.810	645.810	645.810	645.810	645.810	645.810
計算流量ピーク値 (m^3/s)	772.942	765.366	584.371	633.688	459.614	478.435

[解答](4)

流量観測値が得られていない湧別川の中小河川において洪水ハイドログラフの推定を行うには、1 段タンク型非線形貯留関数モデルでは**表－15**、2 段タンク型非線形貯留関数モデルでは**表－16** に示すモデル定数 c_{11}，c_{12} 及び c_{13} の平均値を使用し、流域の降雨を入力して推定することが考えられる。

基本高水の算定では、安全側の計画値を算定する必要がある。このため、ピーク生起時刻が早くなり、流出ボリュームも大きく算出される、モデル定数 c_{11}，c_{12} 及び c_{13} 全てを（$\mu-\sigma$）に設定するのが妥当である。

また、流出解析モデルについては**図－19**、**図－20** 及び**表－19** から、1 段タンク型モデルよりも 2 段タンク型モデルを使用する方が、流出ボリュームを大きくし、減衰部を緩やかに再現することが可能である。

文責　宮武　真由子

第 13 回　流出解析ゼミ

― 河道における Kinematic wave 法と貯留関数法の関係 ―

[問題 1]

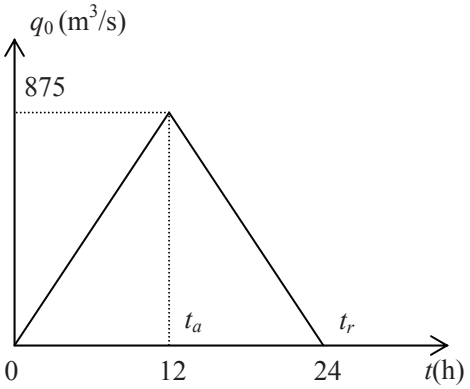
対象河道を広矩形断面と仮定し、平均流速公式としてマニング則を採用すれば、河道定数 α と m は次式で与えられる。

$$\alpha = \left(n/\sqrt{i}\right)^{m} b^{1-m} \quad , \quad m = 3/5 \tag{13.55}$$

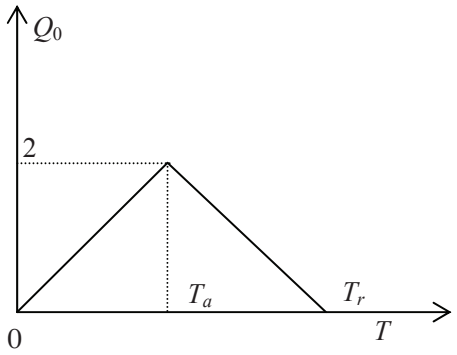
ここで、n ：マニングの粗度係数，i ：河道勾配，b ：河道幅
以下の数値計算においては、次の値を用いることとする。

$$\text{河道長}\ \ L=19.81\text{km},\quad n=0.035,\quad i=1/200,\quad b=100(\text{m}),\quad m=0.6 \tag{13.56}$$

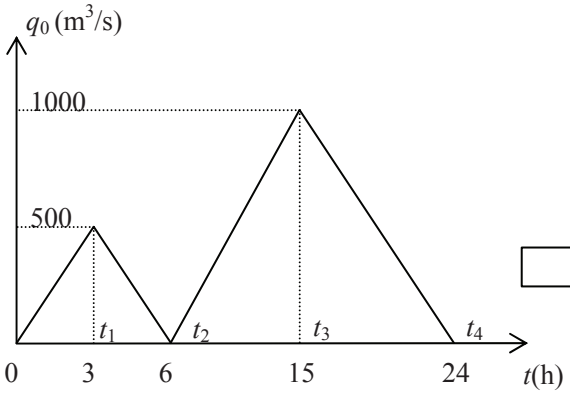
河道上流端の流入ハイドログラフとして、**図－8** と **図－9** に示される 2 種類の境界条件を考える。



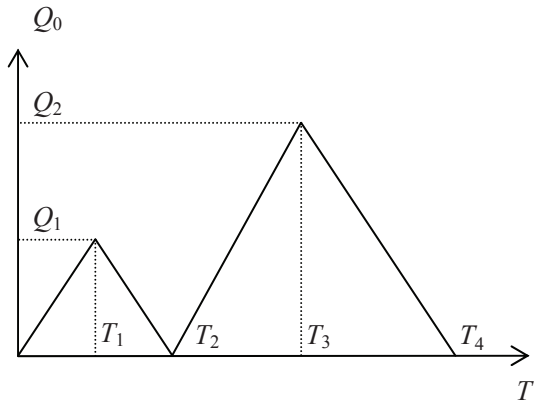
図－8　上流端流入ハイドログラフ



図－10　無次元上流端流入ハイドログラフ



図－9　上流端流入ハイドログラフ



図－11　無次元上流端流入ハイドログラフ

以下に述べる計算手順に従って、無次元領域での河道長 $L=1$ における河道末端ハイドログラフを Kinematic wave 法と貯留関数法で求め、図表にして整理せよ。

(1) 河道定数 $\alpha=\left(n/\sqrt{i}\right)^{m} b^{1-m}$ $\left(m=3/5\right)$、上流端平均流入量 $q_*=\overline{q}_0$ 及び時間に関する演算子 $t_*=\alpha L\left(\overline{q}_0\right)^{m-1}$ の値を求めよ。

(2) **図－8** に対応する**図－10** の無次元上流端流入ハイドログラフの諸元、T_a と T_r の値を計算せよ。

(3) 設問(2)と同様、**図－9** に対応する**図－11** の諸元、T_1，T_2，T_3，T_r の無次元時間と Q_1，Q_2 の無次元流入量を計算せよ。

(4) 前述した Kinematic wave 法の数値計算法を利用して、無次元 Kinematic wave 解をぞれぞれ**図－10** と**図－11** の上流端条件のもとに求めよ。すなわち、$\Delta X=0.02$ (河道長 $L=1$ を 50 分割) と $\Delta T=0.05$ の計算条件のもとで、河道末端流量 Q_s を求めよ。なお、計算終了時刻を $T=14$ とせよ。

(5) 設問(4)の解を $t=t_*T$ と $q_s=q_*Q_s$ の関係式を用いて、実領域での河道末端流量 q_s (m^3/s)に変換して、図表にて整理せよ。

(6) 無次元貯留関数法のモデル定数 K_3，K_4，p_3，p_4 の値を $m=0.6$ と $T_a/T_r=0.5$ 及び $m=0.6$ と $T_a/T_r=0.75$ として、**表－1** から求めよ。

(7) 設問(6)のモデル定数を用いて、**図－10** と**図－11** の上流端境界条件のもとで、Kinematic wave 解と同じく、$\Delta T=0.05$ 毎に河道末端流量 Q_s を求めよ。ただし、貯留関数法の計算時間間隔は $\Delta T=0.01$ とせよ。計算終了時刻を Kinematic wave 法と同様に、$T=14$ とせよ。T_a/T_r の相違によるピーク流出量への影響を考察せよ。

(8) Kinematic wave 解と同様に、貯留関数解を実領域での時刻 t (h)と流出量 q_s (m^3/s)に変換し、2 つの解を図にて比較せよ。

[解答 1]

(1) $\alpha=4.1376$，$q_*=437.5$，$t_*=2.0$

(2) $T_a=6.0$，$T_r=12.0$

(3) $T_1=1.5$，$T_2=3.0$，$T_3=7.5$，$T_r=12.0$，$Q_1=1.1429$，$Q_2=2.2857$

(6) $m=0.6$ かつ $T_a/T_r=0.5$ のとき、$K_3=0.9145$，$K_4=0.5653$，$p_3=0.7453$，$p_4=0.2200$
$m=0.6$ かつ $T_a/T_r=0.75$ のとき、$K_3=0.9221$，$K_4=0.5450$，$p_3=0.7105$，$p_4=0.3308$

(4)～(8)

① $m=0.6$，$T_a/T_r=0.5$ かつ**図－10** の上流端入力条件をもとにした無次元 Kinematic wave 法と無次元貯留関数法の流出ハイドログラフ Q を比較して**図－12** に示す。実領域におけるハイドログラフを**図－13** に示す。また、無次元及び実領域の流出量 Q を**表－5** に示す。

② $m=0.6$，$T_a/T_r=0.5$ かつ**図－11** の上流端入力条件をもとにした、無次元 Kinematic wave 法と無次元貯留関数法の流出ハイドログラフ Q を比較して**図－14** に示す。実領域におけるハイドログラフを**図－15** に示す。また、無次元及び実領域の流出量 Q を**表－6** に示す。

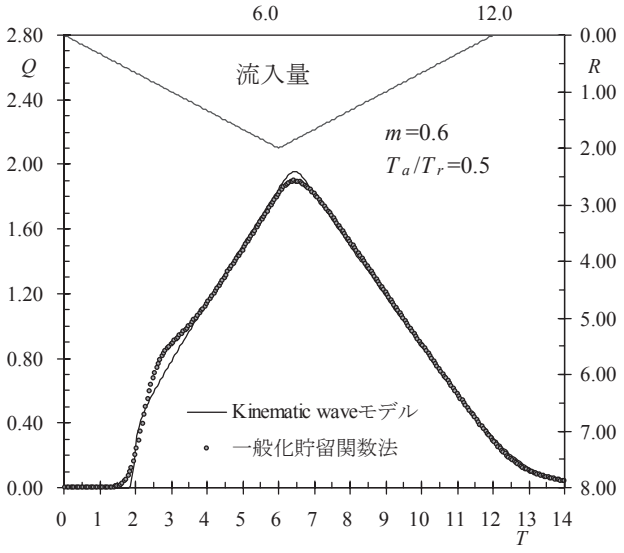
③ $m=0.6$，$T_a/T_r=0.75$ かつ**図－10** の上流端入力条件をもとにした、無次元 Kinematic wave 法と無次元貯留関数法の流出ハイドログラフ Q を比較して**図－16** に示す。実領域におけるハイドロ

グラフを**図－17** に示す。また、無次元及び実領域の流出量Qを**表－7** に示す。

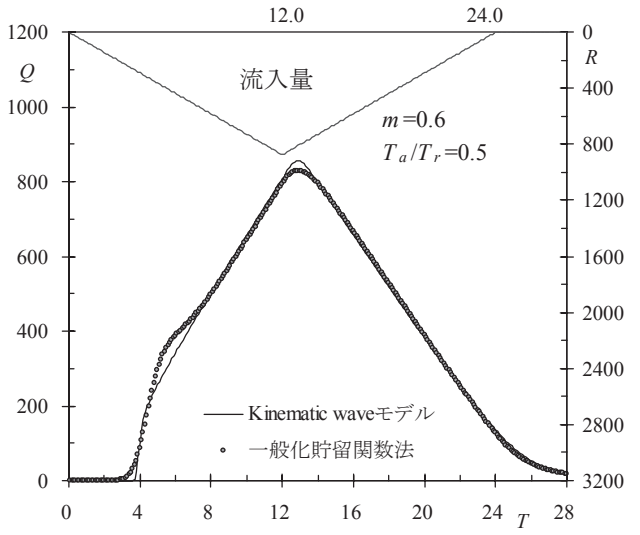
④　$m=0.6$，$T_a/T_r=0.75$ かつ**図－11** の上流端入力条件をもとにした、無次元 Kinematic wave 法と無次元貯留関数法の流出ハイドログラフQを比較して**図－18** に示す。実領域におけるハイドログラフを**図－19** に示す。また、無次元及び実領域の流出量Qを**表－8** に示す。

⑤　**表－9** には、2 山洪水例における無次元 Kinematic wave 法と無次元貯留関数法によるピーク流出量を比較して示す。貯留関数法の解では、上流端流入ハイドログラフのピークが後方に集中している程($T_a/T_r=0.75$)、ピーク流出量が増大することが分かる。以上の結果を総合的に判断すると、貯留関数法による解は十分な精度で Kinematic wave 法の解を再現していると考えられる。

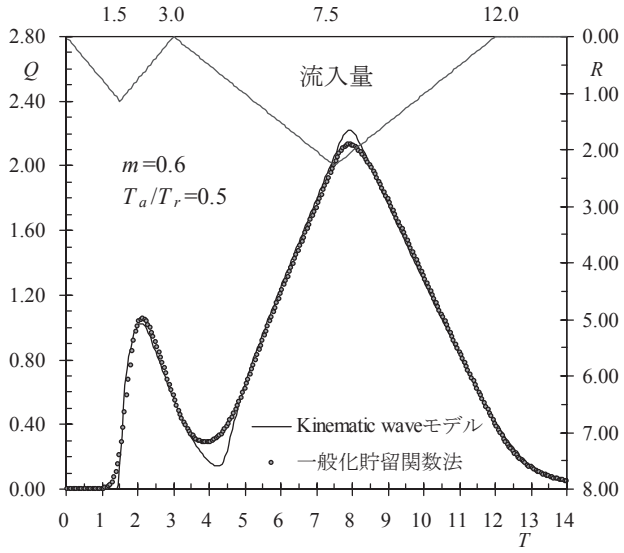
文責　宮武　真由子



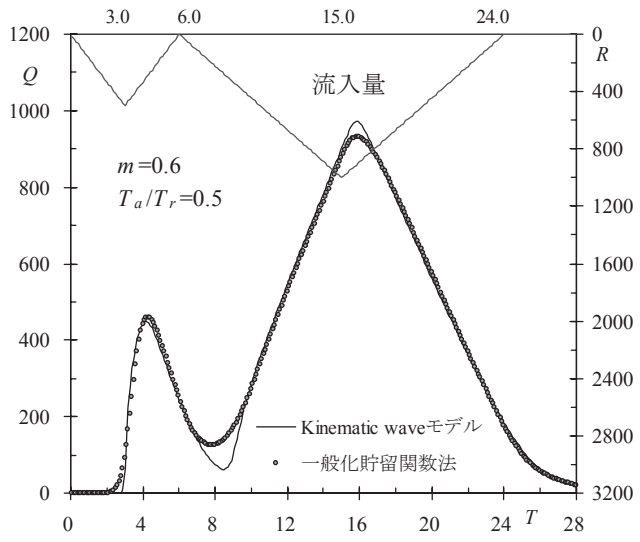
図－12　無次元領域での Kinematic wave 法と貯留関数法によるハイドログラフ比較
（$m=0.6$，$T_a/T_r=0.5$，流入量：一山）



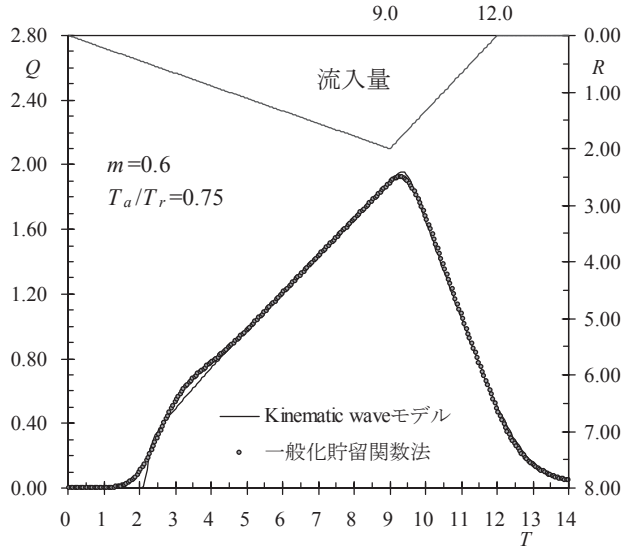
図－13　実領域での Kinematic wave 法と貯留関数法によるハイドログラフ比較
（$m=0.6$，$T_a/T_r=0.5$，流入量：一山）



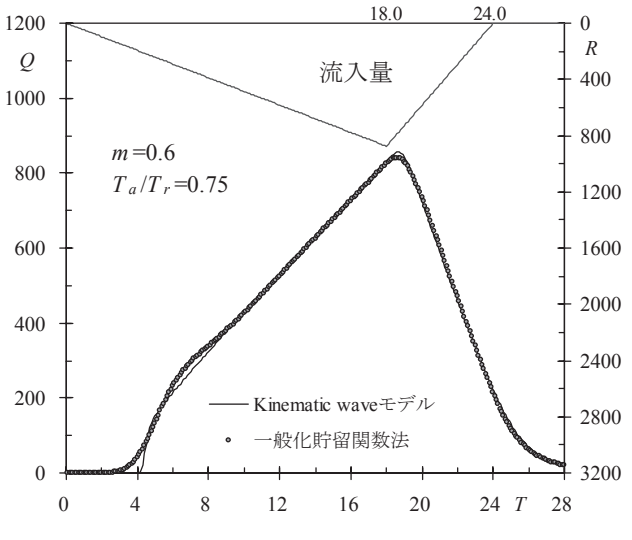
図－14　無次元領域での Kinematic wave 法と貯留関数法によるハイドログラフ比較
（$m=0.6$，$T_a/T_r=0.5$，流入量：二山）



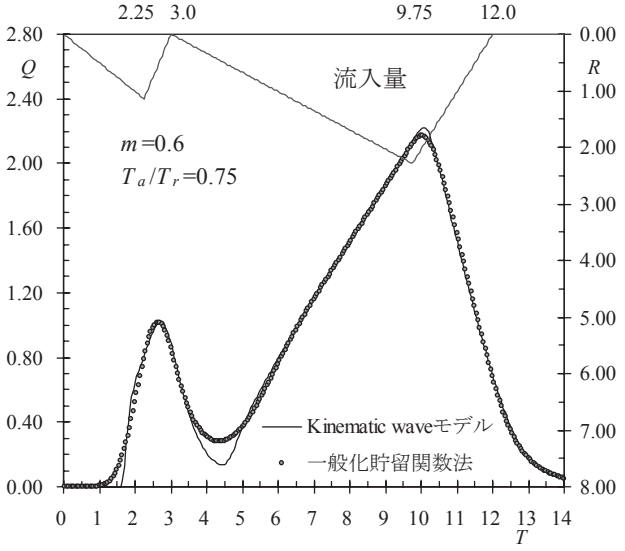
図－15　実領域での Kinematic wave 法と貯留関数法によるハイドログラフ比較
（$m=0.6$，$T_a/T_r=0.5$，流入量：二山）



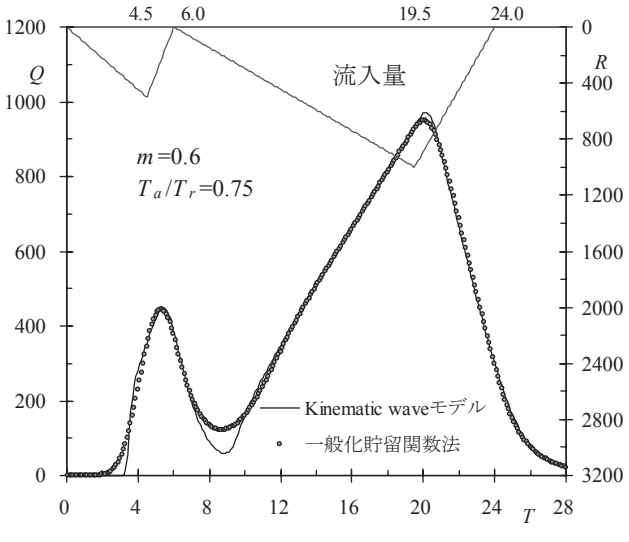
図－16　無次元領域での Kinematic Wave 法と
貯留関数法によるハイドログラフ比較
（$m=0.6$，$T_a/T_r=0.75$，流入量：一山）



図－17　実領域での Kinematic Wave 法と
貯留関数報によるハイドログラフ比較
（$m=0.6$，$T_a/T_r=0.75$，流入量：一山）



図－18　無次元領域での Kinematic Wave 法と
貯留関数法によるハイドログラフ比較
（$m=0.6$，$T_a/T_r=0.75$，流入量：二山）



図－19　実領域での Kinematic Wave 法と
貯留関数法によるハイドログラフ比較
（$m=0.6$，$T_a/T_r=0.75$，流入量：二山）

表－9　Kinematic wave 法と貯留関数法における
無次元ピーク流出量の比較

m=0.6	無次元ピーク流出量	
T_a/T_r	**Kinematic wave法**	貯留関数法
0.5	2.2216	2.1285
0.75	2.2216	2.1677

表－5(1)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.5$、上流端流入条件[図－10]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
1	0.10	0.20	0.0333	14.5833	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.20	0.40	0.0667	29.1667	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.30	0.60	0.1000	43.7500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.40	0.80	0.1333	58.3333	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.50	1.00	0.1667	72.9167	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.60	1.20	0.2000	87.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.70	1.40	0.2333	102.0833	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
8	0.80	1.60	0.2667	116.6667	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008
9	0.90	1.80	0.3000	131.2500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040
10	1.00	2.00	0.3333	145.8333	0.0000	0.0000	0.0000	0.0163
11	1.10	2.20	0.3667	160.4167	0.0000	0.0000	0.0001	0.0577
12	1.20	2.40	0.4000	175.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.1831
13	1.30	2.60	0.4333	189.5833	0.0000	0.0000	0.0012	0.5273
14	1.40	2.80	0.4667	204.1667	0.0000	0.0000	0.0032	1.3928
15	1.50	3.00	0.5000	218.7500	0.0000	0.0000	0.0078	3.3934
16	1.60	3.20	0.5333	233.3333	0.0000	0.0000	0.0175	7.6437
17	1.70	3.40	0.5667	247.9167	0.0000	0.0000	0.0364	15.9058
18	1.80	3.60	0.6000	262.5000	0.0002	0.0924	0.0697	30.4883
19	1.90	3.80	0.6333	277.0833	0.0569	24.8890	0.1226	53.6368
20	2.00	4.00	0.6667	291.6667	0.2403	105.1505	0.1975	86.4028
21	2.10	4.20	0.7000	306.2500	0.3756	164.3045	0.2916	127.5580
22	2.20	4.40	0.7333	320.8333	0.4505	197.0950	0.3965	173.4859
23	2.30	4.60	0.7667	335.4167	0.5020	219.6187	0.5015	219.4054
24	2.40	4.80	0.8000	350.0000	0.5460	238.8876	0.5969	261.1399
25	2.50	5.00	0.8333	364.5833	0.5875	257.0122	0.6772	296.2817
26	2.60	5.20	0.8667	379.1667	0.6276	274.5902	0.7413	324.3050
27	2.70	5.40	0.9000	393.7500	0.6670	291.8157	0.7908	345.9925
28	2.80	5.60	0.9333	408.3333	0.7058	308.7744	0.8291	362.7316
29	2.90	5.80	0.9667	422.9167	0.7440	325.5172	0.8594	375.9970
30	3.00	6.00	1.0000	437.5000	0.7819	342.0797	0.8847	387.0770
31	3.10	6.20	1.0333	452.0833	0.8194	358.4890	0.9074	396.9788
32	3.20	6.40	1.0667	466.6667	0.8566	374.7663	0.9290	406.4310
33	3.30	6.60	1.1000	481.2500	0.8936	390.9285	0.9507	415.9267
34	3.40	6.80	1.1333	495.8333	0.9303	406.9893	0.9732	425.7759
35	3.50	7.00	1.1667	510.4167	0.9668	422.9604	0.9969	436.1538
36	3.60	7.20	1.2000	525.0000	1.0031	438.8513	1.0220	447.1401
37	3.70	7.40	1.2333	539.5833	1.0392	454.6701	1.0486	458.7491
38	3.80	7.60	1.2667	554.1667	1.0753	470.4238	1.0765	470.9535
39	3.90	7.80	1.3000	568.7500	1.1111	486.1184	1.1056	483.7004
40	4.00	8.00	1.3333	583.3333	1.1469	501.7592	1.1358	496.9243
41	4.10	8.20	1.3667	597.9167	1.1825	517.3506	1.1670	510.5549
42	4.20	8.40	1.4000	612.5000	1.2180	532.8968	1.1989	524.5235
43	4.30	8.60	1.4333	627.0833	1.2535	548.4012	1.2315	538.7665
44	4.40	8.80	1.4667	641.6667	1.2888	563.8670	1.2645	553.2270
45	4.50	9.00	1.5000	656.2500	1.3241	579.2971	1.2980	567.8565
46	4.60	9.20	1.5333	670.8333	1.3593	594.6938	1.3317	582.6143
47	4.70	9.40	1.5667	685.4167	1.3944	610.0596	1.3656	597.4670
48	4.80	9.60	1.6000	700.0000	1.4295	625.3965	1.3997	612.3883
49	4.90	9.80	1.6333	714.5833	1.4645	640.7062	1.4340	627.3573
50	5.00	10.00	1.6667	729.1667	1.4994	655.9906	1.4682	642.3583

表－5(2)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.5$、上流端流入条件[図－10]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
51	5.10	10.20	1.7000	743.7500	1.5343	671.2511	1.5026	657.3793
52	5.20	10.40	1.7333	758.3333	1.5691	686.4892	1.5369	672.4115
53	5.30	10.60	1.7667	772.9167	1.6039	701.7060	1.5713	687.4484
54	5.40	10.80	1.8000	787.5000	1.6386	716.9029	1.6057	702.4855
55	5.50	11.00	1.8333	802.0833	1.6733	732.0810	1.6400	717.5196
56	5.60	11.20	1.8667	816.6667	1.7080	747.2411	1.6744	732.5486
57	5.70	11.40	1.9000	831.2500	1.7426	762.3843	1.7087	747.5710
58	5.80	11.60	1.9333	845.8333	1.7772	777.5114	1.7431	762.5859
59	5.90	11.80	1.9667	860.4167	1.8117	792.6232	1.7774	777.5929
60	6.00	12.00	2.0000	875.0000	1.8462	807.7204	1.8116	792.5915
61	6.10	12.20	1.9667	860.4167	1.8806	822.7679	1.8437	806.6320
62	6.20	12.40	1.9333	845.8333	1.9137	837.2480	1.8691	817.7508
63	6.30	12.60	1.9000	831.2500	1.9410	849.1873	1.8860	825.1228
64	6.40	12.80	1.8667	816.6667	1.9557	855.6069	1.8942	828.7062
65	6.50	13.00	1.8333	802.0833	1.9541	854.8983	1.8945	828.8479
66	6.60	13.20	1.8000	787.5000	1.9382	847.9769	1.8881	826.0451
67	6.70	13.40	1.7667	772.9167	1.9133	837.0706	1.8761	820.8147
68	6.80	13.60	1.7333	758.3333	1.8838	824.1657	1.8597	813.6299
69	6.90	13.80	1.7000	743.7500	1.8524	810.4445	1.8398	804.8956
70	7.00	14.00	1.6667	729.1667	1.8204	796.4464	1.8170	794.9457
71	7.10	14.20	1.6333	714.5833	1.7883	782.3730	1.7921	784.0483
72	7.20	14.40	1.6000	700.0000	1.7561	768.2884	1.7655	772.4159
73	7.30	14.60	1.5667	685.4167	1.7239	754.2105	1.7376	760.2151
74	7.40	14.80	1.5333	670.8333	1.6918	740.1441	1.7087	747.5759
75	7.50	15.00	1.5000	656.2500	1.6596	726.0909	1.6791	734.5993
76	7.60	15.20	1.4667	641.6667	1.6275	712.0516	1.6488	721.3635
77	7.70	15.40	1.4333	627.0833	1.5955	698.0268	1.6181	707.9295
78	7.80	15.60	1.4000	612.5000	1.5635	684.0173	1.5871	694.3444
79	7.90	15.80	1.3667	597.9167	1.5315	670.0236	1.5558	680.6447
80	8.00	16.00	1.3333	583.3333	1.4995	656.0465	1.5242	666.8589
81	8.10	16.20	1.3000	568.7500	1.4676	642.0869	1.4926	653.0094
82	8.20	16.40	1.2667	554.1667	1.4358	628.1457	1.4608	639.1133
83	8.30	16.60	1.2333	539.5833	1.4039	614.2236	1.4290	625.1844
84	8.40	16.80	1.2000	525.0000	1.3722	600.3217	1.3971	611.2332
85	8.50	17.00	1.1667	510.4167	1.3404	586.4410	1.3652	597.2685
86	8.60	17.20	1.1333	495.8333	1.3088	572.5826	1.3333	583.2969
87	8.70	17.40	1.1000	481.2500	1.2771	558.7478	1.3013	569.3239
88	8.80	17.60	1.0667	466.6667	1.2456	544.9378	1.2694	555.3541
89	8.90	17.80	1.0333	452.0833	1.2141	531.1539	1.2375	541.3912
90	9.00	18.00	1.0000	437.5000	1.1826	517.3977	1.2056	527.4384
91	9.10	18.20	0.9667	422.9167	1.1512	503.6708	1.1737	513.4983
92	9.20	18.40	0.9333	408.3333	1.1199	489.9749	1.1419	499.5734
93	9.30	18.60	0.9000	393.7500	1.0887	476.3120	1.1101	485.6659
94	9.40	18.80	0.8667	379.1667	1.0576	462.6839	1.0783	471.7780
95	9.50	19.00	0.8333	364.5833	1.0265	449.0931	1.0467	457.9115
96	9.60	19.20	0.8000	350.0000	0.9955	435.5417	1.0150	444.0685
97	9.70	19.40	0.7667	335.4167	0.9646	422.0325	0.9834	430.2511
98	9.80	19.60	0.7333	320.8333	0.9339	408.5684	0.9519	416.4611
99	9.90	19.80	0.7000	306.2500	0.9032	395.1525	0.9205	402.7009
100	10.00	20.00	0.6667	291.6667	0.8727	381.7881	0.8891	388.9725

表－5(3)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.5$、上流端流入条件[図－10]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
101	10.10	20.20	0.6333	277.0833	0.8422	368.4791	0.8578	375.2786
102	10.20	20.40	0.6000	262.5000	0.8120	355.2295	0.8266	361.6218
103	10.30	20.60	0.5667	247.9167	0.7818	342.0440	0.7954	348.0047
104	10.40	20.80	0.5333	233.3333	0.7518	328.9275	0.7644	334.4307
105	10.50	21.00	0.5000	218.7500	0.7220	315.8856	0.7335	320.9031
106	10.60	21.20	0.4667	204.1667	0.6924	302.9244	0.7027	307.4258
107	10.70	21.40	0.4333	189.5833	0.6630	290.0508	0.6720	294.0029
108	10.80	21.60	0.4000	175.0000	0.6338	277.2723	0.6415	280.6391
109	10.90	21.80	0.3667	160.4167	0.6048	264.5973	0.6111	267.3398
110	11.00	22.00	0.3333	145.8333	0.5761	252.0354	0.5808	254.1105
111	11.10	22.20	0.3000	131.2500	0.5476	239.5968	0.5508	240.9581
112	11.20	22.40	0.2667	116.6667	0.5195	227.2935	0.5209	227.8899
113	11.30	22.60	0.2333	102.0833	0.4917	215.1387	0.4912	214.9143
114	11.40	22.80	0.2000	87.5000	0.4643	203.1469	0.4618	202.0407
115	11.50	23.00	0.1667	72.9167	0.4373	191.3347	0.4326	189.2802
116	11.60	23.20	0.1333	58.3333	0.4108	179.7205	0.4038	176.6450
117	11.70	23.40	0.1000	43.7500	0.3847	168.3250	0.3752	164.1493
118	11.80	23.60	0.0667	29.1667	0.3592	157.1711	0.3470	151.8095
119	11.90	23.80	0.0333	14.5833	0.3344	146.2841	0.3192	139.6444
120	12.00	24.00	0.0000	0.0000	0.3102	135.6920	0.2918	127.6758
121	12.10	24.20	0.0000	0.0000	0.2867	125.4252	0.2653	116.0490
122	12.20	24.40	0.0000	0.0000	0.2640	115.5163	0.2401	105.0569
123	12.30	24.60	0.0000	0.0000	0.2423	106.0000	0.2168	94.8642
124	12.40	24.80	0.0000	0.0000	0.2215	96.9115	0.1955	85.5334
125	12.50	25.00	0.0000	0.0000	0.2018	88.2864	0.1761	77.0650
126	12.60	25.20	0.0000	0.0000	0.1832	80.1581	0.1587	69.4230
127	12.70	25.40	0.0000	0.0000	0.1658	72.5559	0.1430	62.5528
128	12.80	25.60	0.0000	0.0000	0.1497	65.5021	0.1289	56.3908
129	12.90	25.80	0.0000	0.0000	0.1349	59.0093	0.1163	50.8714
130	13.00	26.00	0.0000	0.0000	0.1213	53.0788	0.1050	45.9308
131	13.10	26.20	0.0000	0.0000	0.1090	47.6999	0.0949	41.5086
132	13.20	26.40	0.0000	0.0000	0.0979	42.8514	0.0858	37.5494
133	13.30	26.60	0.0000	0.0000	0.0880	38.5037	0.0777	34.0026
134	13.40	26.80	0.0000	0.0000	0.0791	34.6207	0.0705	30.8229
135	13.50	27.00	0.0000	0.0000	0.0712	31.1635	0.0639	27.9696
136	13.60	27.20	0.0000	0.0000	0.0642	28.0917	0.0581	25.4066
137	13.70	27.40	0.0000	0.0000	0.0580	25.3656	0.0528	23.1018
138	13.80	27.60	0.0000	0.0000	0.0525	22.9474	0.0481	21.0270
139	13.90	27.80	0.0000	0.0000	0.0475	20.8021	0.0438	19.1569
140	14.00	28.00	0.0000	0.0000	0.0432	18.8977	0.0399	17.4694

表－6(1)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.5$、上流端流入条件[図－11]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
1	0.10	0.20	0.0762	33.3346	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.20	0.40	0.1524	66.6692	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.30	0.60	0.2286	100.0038	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.40	0.80	0.3048	133.3383	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.50	1.00	0.3810	166.6729	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
6	0.60	1.20	0.4572	200.0075	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008
7	0.70	1.40	0.5334	233.3421	0.0000	0.0000	0.0000	0.0062
8	0.80	1.60	0.6095	266.6767	0.0000	0.0000	0.0001	0.0361
9	0.90	1.80	0.6857	300.0113	0.0000	0.0000	0.0004	0.1706
10	1.00	2.00	0.7619	333.3458	0.0000	0.0000	0.0016	0.6832
11	1.10	2.20	0.8381	366.6804	0.0000	0.0000	0.0054	2.3698
12	1.20	2.40	0.9143	400.0150	0.0000	0.0000	0.0165	7.2125
13	1.30	2.60	0.9905	433.3496	0.0000	0.0000	0.0442	19.3298
14	1.40	2.80	1.0667	466.6842	0.0006	0.2501	0.1039	45.4534
15	1.50	3.00	1.1429	500.0188	0.1458	63.7896	0.2129	93.1472
16	1.60	3.20	1.0667	466.6842	0.5112	223.6686	0.3771	164.9886
17	1.70	3.40	0.9905	433.3496	0.7457	326.2422	0.5755	251.7876
18	1.80	3.60	0.9143	400.0150	0.8778	384.0583	0.7675	335.7702
19	1.90	3.80	0.8381	366.6804	0.9641	421.7959	0.9172	401.2648
20	2.00	4.00	0.7619	333.3458	1.0135	443.3990	1.0097	441.7655
21	2.10	4.20	0.6857	300.0113	1.0252	448.5098	1.0490	458.9314
22	2.20	4.40	0.6095	266.6767	1.0049	439.6503	1.0472	458.1299
23	2.30	4.60	0.5334	233.3421	0.9632	421.4173	1.0172	445.0255
24	2.40	4.80	0.4572	200.0075	0.9099	398.0617	0.9695	424.1442
25	2.50	5.00	0.3810	166.6729	0.8513	372.4330	0.9112	398.6625
26	2.60	5.20	0.3048	133.3383	0.7911	346.1084	0.8472	370.6604
27	2.70	5.40	0.2286	100.0038	0.7311	319.8698	0.7805	341.4497
28	2.80	5.60	0.1524	66.6692	0.6722	294.0966	0.7128	311.8430
29	2.90	5.80	0.0762	33.3346	0.6148	268.9948	0.6454	282.3437
30	3.00	6.00	0.0000	0.0000	0.5593	244.7073	0.5789	253.2718
31	3.10	6.20	0.0508	22.2221	0.5060	221.3611	0.5156	225.5853
32	3.20	6.40	0.1016	44.4442	0.4551	199.0844	0.4593	200.9231
33	3.30	6.60	0.1524	66.6663	0.4069	178.0104	0.4113	179.9598
34	3.40	6.80	0.2032	88.8883	0.3618	158.2760	0.3721	162.7743
35	3.50	7.00	0.2540	111.1104	0.3200	140.0138	0.3410	149.1815
36	3.60	7.20	0.3048	133.3325	0.2819	123.3401	0.3175	138.9082
37	3.70	7.40	0.3556	155.5546	0.2476	108.3414	0.3010	131.6840
38	3.80	7.60	0.4063	177.7767	0.2173	95.0731	0.2909	127.2845
39	3.90	7.80	0.4571	199.9988	0.1910	83.5814	0.2870	125.5490
40	4.00	8.00	0.5079	222.2208	0.1691	73.9726	0.2889	126.3827
41	4.10	8.20	0.5587	244.4429	0.1522	66.5798	0.2966	129.7505
42	4.20	8.40	0.6095	266.6650	0.1425	62.3581	0.3101	135.6623
43	4.30	8.60	0.6603	288.8871	0.1456	63.6986	0.3295	144.1527
44	4.40	8.80	0.7111	311.1092	0.1719	75.2187	0.3549	155.2543
45	4.50	9.00	0.7619	333.3313	0.2319	101.4648	0.3862	168.9681
46	4.60	9.20	0.8127	355.5533	0.3202	140.0927	0.4234	185.2354
47	4.70	9.40	0.8635	377.7754	0.4161	182.0302	0.4661	203.9146
48	4.80	9.60	0.9143	399.9975	0.5044	220.6878	0.5138	224.7723
49	4.90	9.80	0.9651	422.2196	0.5827	254.9148	0.5657	247.4899
50	5.00	10.00	1.0159	444.4417	0.6535	285.8907	0.6210	271.6862

表－6(2)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.5$、上流端流入条件[図－11]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
51	5.10	10.20	1.0667	466.6638	0.7196	314.8455	0.6787	296.9526
52	5.20	10.40	1.1175	488.8858	0.7830	342.5473	0.7380	322.8911
53	5.30	10.60	1.1682	511.1079	0.8444	369.4172	0.7981	349.1490
54	5.40	10.80	1.2190	533.3300	0.9044	395.6897	0.8582	375.4415
55	5.50	11.00	1.2698	555.5521	0.9634	421.5064	0.9179	401.5619
56	5.60	11.20	1.3206	577.7742	1.0216	446.9602	0.9769	427.3795
57	5.70	11.40	1.3714	599.9963	1.0791	472.1169	1.0350	452.8290
58	5.80	11.60	1.4222	622.2183	1.1361	497.0249	1.0923	477.8954
59	5.90	11.80	1.4730	644.4404	1.1925	521.7216	1.1488	502.5980
60	6.00	12.00	1.5238	666.6625	1.2485	546.2363	1.2045	526.9764
61	6.10	12.20	1.5746	688.8846	1.3042	570.5924	1.2596	551.0793
62	6.20	12.40	1.6254	711.1067	1.3596	594.8092	1.3142	574.9565
63	6.30	12.60	1.6762	733.3288	1.4146	618.9026	1.3684	598.6542
64	6.40	12.80	1.7270	755.5508	1.4695	642.8859	1.4222	622.2119
65	6.50	13.00	1.7778	777.7729	1.5240	666.7703	1.4758	645.6621
66	6.60	13.20	1.8286	799.9950	1.5784	690.5657	1.5292	669.0301
67	6.70	13.40	1.8794	822.2171	1.6326	714.2803	1.5825	692.3349
68	6.80	13.60	1.9301	844.4392	1.6867	737.9211	1.6356	715.5903
69	6.90	13.80	1.9809	866.6613	1.7406	761.4947	1.6887	738.8061
70	7.00	14.00	2.0317	888.8833	1.7943	785.0066	1.7417	761.9890
71	7.10	14.20	2.0825	911.1054	1.8479	808.4615	1.7946	785.1434
72	7.20	14.40	2.1333	933.3275	1.9014	831.8638	1.8475	808.2722
73	7.30	14.60	2.1841	955.5496	1.9548	855.2175	1.9003	831.3772
74	7.40	14.80	2.2349	977.7717	2.0081	878.5260	1.9531	854.4597
75	7.50	15.00	2.2857	999.9938	2.0612	901.7924	2.0058	877.5205
76	7.60	15.20	2.2349	977.7717	2.1142	924.9424	2.0549	899.0038
77	7.70	15.40	2.1841	955.5496	2.1644	946.9406	2.0931	915.7365
78	7.80	15.60	2.1333	933.3275	2.2039	964.1859	2.1176	926.4646
79	7.90	15.80	2.0825	911.1054	2.2216	971.9411	2.1285	931.2251
80	8.00	16.00	2.0317	888.8833	2.2137	968.4849	2.1272	930.6640
81	8.10	16.20	1.9809	866.6613	2.1854	956.1046	2.1157	925.6335
82	8.20	16.40	1.9301	844.4392	2.1451	938.4916	2.0960	916.9821
83	8.30	16.60	1.8794	822.2171	2.0994	918.4768	2.0696	905.4614
84	8.40	16.80	1.8286	799.9950	2.0516	897.5678	2.0382	891.6981
85	8.50	17.00	1.7778	777.7729	2.0032	876.3907	2.0027	876.1970
86	8.60	17.20	1.7270	755.5508	1.9547	855.1611	1.9642	859.3565
87	8.70	17.40	1.6762	733.3288	1.9062	833.9433	1.9234	841.4875
88	8.80	17.60	1.6254	711.1067	1.8577	812.7550	1.8808	822.8310
89	8.90	17.80	1.5746	688.8846	1.8094	791.6021	1.8367	803.5732
90	9.00	18.00	1.5238	666.6625	1.7611	770.4874	1.7917	783.8579
91	9.10	18.20	1.4730	644.4404	1.7129	749.4134	1.7458	763.7963
92	9.20	18.40	1.4222	622.2183	1.6649	728.3826	1.6994	743.4743
93	9.30	18.60	1.3714	599.9963	1.6169	707.3979	1.6525	722.9590
94	9.40	18.80	1.3206	577.7742	1.5691	686.4621	1.6053	702.3022
95	9.50	19.00	1.2698	555.5521	1.5213	665.5787	1.5578	681.5449
96	9.60	19.20	1.2190	533.3300	1.4737	644.7510	1.5102	660.7191
97	9.70	19.40	1.1682	511.1079	1.4262	623.9831	1.4625	639.8506
98	9.80	19.60	1.1175	488.8858	1.3789	603.2792	1.4148	618.9599
99	9.90	19.80	1.0667	466.6638	1.3318	582.6441	1.3670	598.0639
100	10.00	20.00	1.0159	444.4417	1.2848	562.0829	1.3193	577.1764

表－6(3)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.5$、上流端流入条件[図－11]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
101	10.10	20.20	0.9651	422.2196	1.2379	541.6012	1.2716	556.3093
102	10.20	20.40	0.9143	399.9975	1.1913	521.2057	1.2239	535.4731
103	10.30	20.60	0.8635	377.7754	1.1449	500.9031	1.1764	514.6770
104	10.40	20.80	0.8127	355.5533	1.0987	480.7015	1.1290	493.9296
105	10.50	21.00	0.7619	333.3313	1.0528	460.6093	1.0817	473.2392
106	10.60	21.20	0.7111	311.1092	1.0072	440.6366	1.0345	452.6141
107	10.70	21.40	0.6603	288.8871	0.9618	420.7940	0.9876	432.0625
108	10.80	21.60	0.6095	266.6650	0.9168	401.0940	0.9408	411.5933
109	10.90	21.80	0.5587	244.4429	0.8721	381.5503	0.8942	391.2157
110	11.00	22.00	0.5079	222.2208	0.8278	362.1784	0.8479	370.9398
111	11.10	22.20	0.4571	199.9988	0.7840	342.9960	0.8018	350.7770
112	11.20	22.40	0.4063	177.7767	0.7406	324.0230	0.7560	330.7396
113	11.30	22.60	0.3556	155.5546	0.6978	305.2820	0.7105	310.8418
114	11.40	22.80	0.3048	133.3325	0.6555	286.7987	0.6654	291.0996
115	11.50	23.00	0.2540	111.1104	0.6139	268.6023	0.6206	271.5312
116	11.60	23.20	0.2032	88.8883	0.5731	250.7260	0.5764	252.1578
117	11.70	23.40	0.1524	66.6663	0.5330	233.2074	0.5326	233.0038
118	11.80	23.60	0.1016	44.4442	0.4939	216.0892	0.4894	214.0975
119	11.90	23.80	0.0508	22.2221	0.4558	199.4193	0.4468	195.4722
120	12.00	24.00	0.0000	0.0000	0.4189	183.2512	0.4050	177.1668
121	12.10	24.20	0.0000	0.0000	0.3832	167.6442	0.3645	159.4583
122	12.20	24.40	0.0000	0.0000	0.3489	152.6623	0.3266	142.8852
123	12.30	24.60	0.0000	0.0000	0.3163	138.3736	0.2919	127.7157
124	12.40	24.80	0.0000	0.0000	0.2854	124.8479	0.2606	114.0223
125	12.50	25.00	0.0000	0.0000	0.2564	112.1533	0.2326	101.7678
126	12.60	25.20	0.0000	0.0000	0.2294	100.3506	0.2077	90.8593
127	12.70	25.40	0.0000	0.0000	0.2045	89.4868	0.1856	81.1794
128	12.80	25.60	0.0000	0.0000	0.1819	79.5879	0.1660	72.6034
129	12.90	25.80	0.0000	0.0000	0.1615	70.6548	0.1486	65.0101
130	13.00	26.00	0.0000	0.0000	0.1432	62.6626	0.1332	58.2862
131	13.10	26.20	0.0000	0.0000	0.1270	55.5647	0.1196	52.3286
132	13.20	26.40	0.0000	0.0000	0.1127	49.2979	0.1075	47.0451
133	13.30	26.60	0.0000	0.0000	0.1001	43.7889	0.0968	42.3538
134	13.40	26.80	0.0000	0.0000	0.0891	38.9606	0.0873	38.1829
135	13.50	27.00	0.0000	0.0000	0.0794	34.7361	0.0788	34.4694
136	13.60	27.20	0.0000	0.0000	0.0710	31.0424	0.0712	31.1582
137	13.70	27.40	0.0000	0.0000	0.0636	27.8123	0.0645	28.2012
138	13.80	27.60	0.0000	0.0000	0.0571	24.9851	0.0584	25.5565
139	13.90	27.80	0.0000	0.0000	0.0514	22.5070	0.0530	23.1875
140	14.00	28.00	0.0000	0.0000	0.0465	20.3309	0.0481	21.0622

表－7(1)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.75$、上流端流入条件[図－10]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
1	0.10	0.20	0.0222	9.7222	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.20	0.40	0.0444	19.4444	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.30	0.60	0.0667	29.1667	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.40	0.80	0.0889	38.8889	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.50	1.00	0.1111	48.6111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004
6	0.60	1.20	0.1333	58.3333	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018
7	0.70	1.40	0.1556	68.0556	0.0000	0.0000	0.0000	0.0071
8	0.80	1.60	0.1778	77.7778	0.0000	0.0000	0.0001	0.0228
9	0.90	1.80	0.2000	87.5000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0637
10	1.00	2.00	0.2222	97.2222	0.0000	0.0000	0.0004	0.1595
11	1.10	2.20	0.2444	106.9444	0.0000	0.0000	0.0008	0.3645
12	1.20	2.40	0.2667	116.6667	0.0000	0.0000	0.0018	0.7702
13	1.30	2.60	0.2889	126.3889	0.0000	0.0000	0.0035	1.5200
14	1.40	2.80	0.3111	136.1111	0.0000	0.0000	0.0065	2.8222
15	1.50	3.00	0.3333	145.8333	0.0000	0.0000	0.0113	4.9585
16	1.60	3.20	0.3556	155.5556	0.0000	0.0000	0.0189	8.2793
17	1.70	3.40	0.3778	165.2778	0.0000	0.0000	0.0301	13.1823
18	1.80	3.60	0.4000	175.0000	0.0000	0.0000	0.0459	20.0714
19	1.90	3.80	0.4222	184.7222	0.0000	0.0000	0.0670	29.2963
20	2.00	4.00	0.4444	194.4444	0.0000	0.0000	0.0939	41.0858
21	2.10	4.20	0.4667	204.1667	0.0110	4.8081	0.1268	55.4878
22	2.20	4.40	0.4889	213.8889	0.1164	50.9159	0.1653	72.3338
23	2.30	4.60	0.5111	223.6111	0.2378	104.0200	0.2086	91.2409
24	2.40	4.80	0.5333	233.3333	0.3078	134.6714	0.2552	111.6513
25	2.50	5.00	0.5556	243.0556	0.3497	153.0096	0.3038	132.9032
26	2.60	5.20	0.5778	252.7778	0.3818	167.0375	0.3527	154.3143
27	2.70	5.40	0.6000	262.5000	0.4106	179.6342	0.4006	175.2597
28	2.80	5.60	0.6222	272.2222	0.4381	191.6652	0.4462	195.2310
29	2.90	5.80	0.6444	281.9444	0.4649	203.3917	0.4888	213.8680
30	3.00	6.00	0.6667	291.6667	0.4912	214.9076	0.5279	230.9657
31	3.10	6.20	0.6889	301.3889	0.5172	226.2586	0.5633	246.4600
32	3.20	6.40	0.7111	311.1111	0.5428	237.4736	0.5952	260.4009
33	3.30	6.60	0.7333	320.8333	0.5682	248.5733	0.6238	272.9215
34	3.40	6.80	0.7556	330.5556	0.5933	259.5738	0.6496	284.2071
35	3.50	7.00	0.7778	340.2778	0.6183	270.4881	0.6731	294.4686
36	3.60	7.20	0.8000	350.0000	0.6430	281.3265	0.6947	303.9218
37	3.70	7.40	0.8222	359.7222	0.6677	292.0975	0.7149	312.7728
38	3.80	7.60	0.8444	369.4444	0.6921	302.8085	0.7342	321.2080
39	3.90	7.80	0.8667	379.1667	0.7165	313.4656	0.7529	329.3891
40	4.00	8.00	0.8889	388.8889	0.7407	324.0738	0.7713	337.4510
41	4.10	8.20	0.9111	398.6111	0.7649	334.6378	0.7897	345.5016
42	4.20	8.40	0.9333	408.3333	0.7889	345.1614	0.8083	353.6239
43	4.30	8.60	0.9556	418.0556	0.8129	355.6481	0.8272	361.8782
44	4.40	8.80	0.9778	427.7778	0.8368	366.1008	0.8464	370.3046
45	4.50	9.00	1.0000	437.5000	0.8606	376.5222	0.8661	378.9268
46	4.60	9.20	1.0222	447.2222	0.8844	386.9146	0.8863	387.7546
47	4.70	9.40	1.0444	456.9444	0.9081	397.2801	0.9069	396.7867
48	4.80	9.60	1.0667	466.6667	0.9317	407.6207	0.9280	406.0138
49	4.90	9.80	1.0889	476.3889	0.9553	417.9380	0.9495	415.4204
50	5.00	10.00	1.1111	486.1111	0.9788	428.2335	0.9714	424.9873

表－7(2)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.75$、上流端流入条件[図－10]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
51	5.10	10.20	1.1333	495.8333	1.0023	438.5086	0.9936	434.6931
52	5.20	10.40	1.1556	505.5556	1.0257	448.7647	1.0160	444.5156
53	5.30	10.60	1.1778	515.2778	1.0491	459.0027	1.0387	454.4330
54	5.40	10.80	1.2000	525.0000	1.0725	469.2239	1.0615	464.4249
55	5.50	11.00	1.2222	534.7222	1.0958	479.4292	1.0845	474.4725
56	5.60	11.20	1.2444	544.4444	1.1191	489.6193	1.1076	484.5593
57	5.70	11.40	1.2667	554.1667	1.1424	499.7953	1.1307	494.6714
58	5.80	11.60	1.2889	563.8889	1.1656	509.9577	1.1538	504.7969
59	5.90	11.80	1.3111	573.6111	1.1888	520.1074	1.1770	514.9266
60	6.00	12.00	1.3333	583.3333	1.2120	530.2449	1.2001	525.0533
61	6.10	12.20	1.3556	593.0556	1.2351	540.3708	1.2232	535.1717
62	6.20	12.40	1.3778	602.7778	1.2583	550.4858	1.2464	545.2782
63	6.30	12.60	1.4000	612.5000	1.2813	560.5903	1.2694	555.3706
64	6.40	12.80	1.4222	622.2222	1.3044	570.6848	1.2925	565.4476
65	6.50	13.00	1.4444	631.9444	1.3275	580.7697	1.3154	575.5092
66	6.60	13.20	1.4667	641.6667	1.3505	590.8456	1.3384	585.5555
67	6.70	13.40	1.4889	651.3889	1.3735	600.9127	1.3613	595.5874
68	6.80	13.60	1.5111	661.1111	1.3965	610.9715	1.3842	605.6061
69	6.90	13.80	1.5333	670.8333	1.4195	621.0223	1.4071	615.6126
70	7.00	14.00	1.5556	680.5556	1.4424	631.0654	1.4300	625.6083
71	7.10	14.20	1.5778	690.2778	1.4654	641.1011	1.4528	635.5943
72	7.20	14.40	1.6000	700.0000	1.4883	651.1299	1.4756	645.5719
73	7.30	14.60	1.6222	709.7222	1.5112	661.1517	1.4984	655.5420
74	7.40	14.80	1.6444	719.4444	1.5341	671.1671	1.5212	665.5056
75	7.50	15.00	1.6667	729.1667	1.5570	681.1762	1.5439	675.4634
76	7.60	15.20	1.6889	738.8889	1.5798	691.1792	1.5667	685.4160
77	7.70	15.40	1.7111	748.6111	1.6027	701.1764	1.5894	695.3641
78	7.80	15.60	1.7333	758.3333	1.6255	711.1679	1.6121	705.3080
79	7.90	15.80	1.7556	768.0556	1.6484	721.1540	1.6349	715.2480
80	8.00	16.00	1.7778	777.7778	1.6712	731.1349	1.6576	725.1844
81	8.10	16.20	1.8000	787.5000	1.6940	741.1107	1.6803	735.1173
82	8.20	16.40	1.8222	797.2222	1.7168	751.0817	1.7030	745.0471
83	8.30	16.60	1.8444	806.9444	1.7395	761.0479	1.7257	754.9736
84	8.40	16.80	1.8667	816.6667	1.7623	771.0096	1.7483	764.8971
85	8.50	17.00	1.8889	826.3889	1.7851	780.9668	1.7710	774.8176
86	8.60	17.20	1.9111	836.1111	1.8078	790.9197	1.7937	784.7351
87	8.70	17.40	1.9333	845.8333	1.8306	800.8685	1.8163	794.6497
88	8.80	17.60	1.9556	855.5556	1.8533	810.8133	1.8390	804.5615
89	8.90	17.80	1.9778	865.2778	1.8760	820.7542	1.8616	814.4705
90	9.00	18.00	2.0000	875.0000	1.8987	830.6913	1.8843	824.3767
91	9.10	18.20	1.9333	845.8333	1.9213	840.5758	1.9048	833.3710
92	9.20	18.40	1.8667	816.6667	1.9422	849.7144	1.9184	839.3138
93	9.30	18.60	1.8000	787.5000	1.9555	855.5211	1.9221	840.9111
94	9.40	18.80	1.7333	758.3333	1.9524	854.1887	1.9147	837.6708
95	9.50	19.00	1.6667	729.1667	1.9286	843.7653	1.8964	829.6614
96	9.60	19.20	1.6000	700.0000	1.8869	825.5100	1.8681	817.3012
97	9.70	19.40	1.5333	670.8333	1.8338	802.2744	1.8313	801.1909
98	9.80	19.60	1.4667	641.6667	1.7750	776.5639	1.7874	781.9919
99	9.90	19.80	1.4000	612.5000	1.7140	749.8716	1.7379	760.3465
100	10.00	20.00	1.3333	583.3333	1.6523	722.8905	1.6842	736.8324

表－7(3)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.75$、上流端流入条件[図－10]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
101	10.10	20.20	1.2667	554.1667	1.5906	695.8902	1.6273	711.9419
102	10.20	20.40	1.2000	525.0000	1.5291	668.9649	1.5682	686.0780
103	10.30	20.60	1.1333	495.8333	1.4678	642.1489	1.5076	659.5595
104	10.40	20.80	1.0667	466.6667	1.4068	615.4589	1.4460	632.6324
105	10.50	21.00	1.0000	437.5000	1.3461	588.9081	1.3840	605.4816
106	10.60	21.20	0.9333	408.3333	1.2857	562.5099	1.3217	578.2434
107	10.70	21.40	0.8667	379.1667	1.2258	536.2789	1.2595	551.0166
108	10.80	21.60	0.8000	350.0000	1.1662	510.2318	1.1974	523.8719
109	10.90	21.80	0.7333	320.8333	1.1072	484.3874	1.1357	496.8600
110	11.00	22.00	0.6667	291.6667	1.0486	458.7670	1.0743	470.0175
111	11.10	22.20	0.6000	262.5000	0.9906	433.3949	1.0134	443.3718
112	11.20	22.40	0.5333	233.3333	0.9333	408.2989	0.9530	416.9450
113	11.30	22.60	0.4667	204.1667	0.8766	383.5109	0.8932	390.7569
114	11.40	22.80	0.4000	175.0000	0.8207	359.0675	0.8339	364.8271
115	11.50	23.00	0.3333	145.8333	0.7657	335.0104	0.7753	339.1768
116	11.60	23.20	0.2667	116.6667	0.7117	311.3880	0.7173	313.8303
117	11.70	23.40	0.2000	87.5000	0.6589	288.2557	0.6602	288.8162
118	11.80	23.60	0.1333	58.3333	0.6073	265.6766	0.6038	264.1690
119	11.90	23.80	0.0667	29.1667	0.5571	243.7231	0.5484	239.9298
120	12.00	24.00	0.0000	0.0000	0.5085	222.4766	0.4941	216.1483
121	12.10	24.20	0.0000	0.0000	0.4618	202.0278	0.4415	193.1560
122	12.20	24.40	0.0000	0.0000	0.4171	182.4761	0.3923	171.6182
123	12.30	24.60	0.0000	0.0000	0.3747	163.9272	0.3472	151.9021
124	12.40	24.80	0.0000	0.0000	0.3348	146.4888	0.3066	134.1342
125	12.50	25.00	0.0000	0.0000	0.2977	130.2637	0.2704	118.2931
126	12.60	25.20	0.0000	0.0000	0.2636	115.3385	0.2383	104.2733
127	12.70	25.40	0.0000	0.0000	0.2326	101.7699	0.2101	91.9261
128	12.80	25.60	0.0000	0.0000	0.2047	89.5757	0.1853	81.0863
129	12.90	25.80	0.0000	0.0000	0.1800	78.7303	0.1636	71.5876
130	13.00	26.00	0.0000	0.0000	0.1581	69.1700	0.1446	63.2720
131	13.10	26.20	0.0000	0.0000	0.1390	60.8019	0.1280	55.9934
132	13.20	26.40	0.0000	0.0000	0.1223	53.5153	0.1134	49.6207
133	13.30	26.60	0.0000	0.0000	0.1079	47.1924	0.1007	44.0371
134	13.40	26.80	0.0000	0.0000	0.0954	41.7165	0.0895	39.1401
135	13.50	27.00	0.0000	0.0000	0.0845	36.9772	0.0796	34.8400
136	13.60	27.20	0.0000	0.0000	0.0751	32.8739	0.0710	31.0589
137	13.70	27.40	0.0000	0.0000	0.0670	29.3172	0.0634	27.7292
138	13.80	27.60	0.0000	0.0000	0.0600	26.2286	0.0567	24.7925
139	13.90	27.80	0.0000	0.0000	0.0538	23.5404	0.0507	22.1984
140	14.00	28.00	0.0000	0.0000	0.0484	21.1948	0.0455	19.9030

表－8(1)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.75$、上流端流入条件[図－11]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
1	0.10	0.20	0.0508	22.2231	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.20	0.40	0.1016	44.4461	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.30	0.60	0.1524	66.6692	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.40	0.80	0.2032	88.8922	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007
5	0.50	1.00	0.2540	111.1153	0.0000	0.0000	0.0000	0.0046
6	0.60	1.20	0.3048	133.3383	0.0000	0.0000	0.0001	0.0224
7	0.70	1.40	0.3556	155.5614	0.0000	0.0000	0.0002	0.0852
8	0.80	1.60	0.4064	177.7844	0.0000	0.0000	0.0006	0.2711
9	0.90	1.80	0.4572	200.0075	0.0000	0.0000	0.0017	0.7481
10	1.00	2.00	0.5080	222.2306	0.0000	0.0000	0.0042	1.8368
11	1.10	2.20	0.5588	244.4536	0.0000	0.0000	0.0093	4.0830
12	1.20	2.40	0.6095	266.6767	0.0000	0.0000	0.0190	8.3173
13	1.30	2.60	0.6603	288.8997	0.0000	0.0000	0.0358	15.6625
14	1.40	2.80	0.7111	311.1228	0.0000	0.0000	0.0627	27.4447
15	1.50	3.00	0.7619	333.3458	0.0000	0.0000	0.1028	44.9803
16	1.60	3.20	0.8127	355.5689	0.0017	0.7333	0.1583	69.2666
17	1.70	3.40	0.8635	377.7919	0.1308	57.2340	0.2301	100.6584
18	1.80	3.60	0.9143	400.0150	0.3909	171.0245	0.3169	138.6567
19	1.90	3.80	0.9651	422.2381	0.5530	241.9317	0.4158	181.9083
20	2.00	4.00	1.0159	444.4611	0.6471	283.1058	0.5221	228.4340
21	2.10	4.20	1.0667	466.6842	0.7185	314.3286	0.6309	276.0071
22	2.20	4.40	1.1175	488.9072	0.7828	342.4731	0.7373	322.5513
23	2.30	4.60	1.0667	466.6842	0.8444	369.4205	0.8370	366.1802
24	2.40	4.80	0.9143	400.0150	0.9043	395.6191	0.9214	403.0958
25	2.50	5.00	0.7619	333.3458	0.9608	420.3423	0.9815	429.4147
26	2.60	5.20	0.6095	266.6767	1.0060	440.1300	1.0125	442.9582
27	2.70	5.40	0.4572	200.0075	1.0259	448.8524	1.0132	443.2765
28	2.80	5.60	0.3048	133.3383	1.0100	441.8818	0.9858	431.2936
29	2.90	5.80	0.1524	66.6692	0.9593	419.6951	0.9344	408.8008
30	3.00	6.00	0.0000	0.0000	0.8840	386.7406	0.8640	377.9837
31	3.10	6.20	0.0339	14.8147	0.7959	348.2190	0.7821	342.1663
32	3.20	6.40	0.0677	29.6294	0.7044	308.1657	0.6988	305.7270
33	3.30	6.60	0.1016	44.4442	0.6152	269.1692	0.6203	271.4011
34	3.40	6.80	0.1354	59.2589	0.5320	232.7564	0.5499	240.5766
35	3.50	7.00	0.1693	74.0736	0.4566	199.7794	0.4887	213.7913
36	3.60	7.20	0.2032	88.8883	0.3900	170.6398	0.4368	191.0903
37	3.70	7.40	0.2370	103.7031	0.3324	145.4114	0.3937	172.2614
38	3.80	7.60	0.2709	118.5178	0.2833	123.9344	0.3588	156.9806
39	3.90	7.80	0.3048	133.3325	0.2421	105.9106	0.3312	144.8967
40	4.00	8.00	0.3386	148.1472	0.2080	90.9954	0.3101	135.6782
41	4.10	8.20	0.3725	162.9619	0.1803	78.8855	0.2949	129.0367
42	4.20	8.40	0.4063	177.7767	0.1587	69.4164	0.2851	124.7355
43	4.30	8.60	0.4402	192.5914	0.1433	62.7062	0.2802	122.5910
44	4.40	8.80	0.4741	207.4061	0.1358	59.3975	0.2799	122.4682
45	4.50	9.00	0.5079	222.2208	0.1394	60.9697	0.2841	124.2738
46	4.60	9.20	0.5418	237.0356	0.1592	69.6385	0.2924	127.9465
47	4.70	9.40	0.5757	251.8503	0.1983	86.7685	0.3050	133.4461
48	4.80	9.60	0.6095	266.6650	0.2526	110.5081	0.3217	140.7417
49	4.90	9.80	0.6434	281.4797	0.3121	136.5312	0.3424	149.7993
50	5.00	10.00	0.6772	296.2944	0.3691	161.4757	0.3670	160.5699

表－8(2)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.75$、上流端流入条件[図－11]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
51	5.10	10.20	0.7111	311.1092	0.4212	184.2929	0.3954	172.9802
52	5.20	10.40	0.7450	325.9239	0.4692	205.2607	0.4273	186.9247
53	5.30	10.60	0.7788	340.7386	0.5141	224.9344	0.4623	202.2629
54	5.40	10.80	0.8127	355.5533	0.5571	243.7452	0.5002	218.8204
55	5.50	11.00	0.8466	370.3681	0.5988	261.9638	0.5403	236.3943
56	5.60	11.20	0.8804	385.1828	0.6394	279.7526	0.5823	254.7625
57	5.70	11.40	0.9143	399.9975	0.6793	297.2127	0.6256	273.6955
58	5.80	11.60	0.9481	414.8122	0.7187	314.4108	0.6696	292.9689
59	5.90	11.80	0.9820	429.6269	0.7575	331.3943	0.7140	312.3750
60	6.00	12.00	1.0159	444.4417	0.7959	348.1978	0.7582	331.7325
61	6.10	12.20	1.0497	459.2564	0.8339	364.8481	0.8020	350.8930
62	6.20	12.40	1.0836	474.0711	0.8717	381.3663	0.8451	369.7443
63	6.30	12.60	1.1175	488.8858	0.9092	397.7692	0.8873	388.2107
64	6.40	12.80	1.1513	503.7006	0.9464	414.0707	0.9286	406.2502
65	6.50	13.00	1.1852	518.5153	0.9835	430.2820	0.9688	423.8502
66	6.60	13.20	1.2190	533.3300	1.0204	446.4129	1.0081	441.0219
67	6.70	13.40	1.2529	548.1447	1.0571	462.4715	1.0464	457.7945
68	6.80	13.60	1.2868	562.9594	1.0936	478.4647	1.0839	474.2092
69	6.90	13.80	1.3206	577.7742	1.1301	494.3986	1.1207	490.3143
70	7.00	14.00	1.3545	592.5889	1.1664	510.2783	1.1569	506.1606
71	7.10	14.20	1.3884	607.4036	1.2025	526.1086	1.1927	521.7982
72	7.20	14.40	1.4222	622.2183	1.2386	541.8933	1.2281	537.2738
73	7.30	14.60	1.4561	637.0331	1.2746	557.6360	1.2632	552.6292
74	7.40	14.80	1.4899	651.8478	1.3105	573.3399	1.2981	567.9001
75	7.50	15.00	1.5238	666.6625	1.3463	589.0079	1.3328	583.1161
76	7.60	15.20	1.5577	681.4772	1.3820	604.6423	1.3675	598.3008
77	7.70	15.40	1.5915	696.2919	1.4177	620.2456	1.4022	613.4717
78	7.80	15.60	1.6254	711.1067	1.4533	635.8198	1.4369	628.6416
79	7.90	15.80	1.6592	725.9214	1.4888	651.3668	1.4716	643.8188
80	8.00	16.00	1.6931	740.7361	1.5243	666.8881	1.5063	659.0081
81	8.10	16.20	1.7270	755.5508	1.5597	682.3855	1.5411	674.2116
82	8.20	16.40	1.7608	770.3656	1.5951	697.8602	1.5758	689.4293
83	8.30	16.60	1.7947	785.1803	1.6304	713.3137	1.6107	704.6597
84	8.40	16.80	1.8286	799.9950	1.6657	728.7470	1.6455	719.9005
85	8.50	17.00	1.8624	814.8097	1.7009	744.1613	1.6803	735.1490
86	8.60	17.20	1.8963	829.6244	1.7361	759.5576	1.7152	750.4022
87	8.70	17.40	1.9301	844.4392	1.7713	774.9369	1.7501	765.6573
88	8.80	17.60	1.9640	859.2539	1.8064	790.2999	1.7849	780.9118
89	8.90	17.80	1.9979	874.0686	1.8415	805.6475	1.8198	796.1633
90	9.00	18.00	2.0317	888.8833	1.8765	820.9805	1.8547	811.4101
91	9.10	18.20	2.0656	903.6981	1.9115	836.2995	1.8895	826.6507
92	9.20	18.40	2.0995	918.5128	1.9465	851.6051	1.9243	841.8840
93	9.30	18.60	2.1333	933.3275	1.9815	866.8981	1.9591	857.1094
94	9.40	18.80	2.1672	948.1422	2.0164	882.1789	1.9939	872.3263
95	9.50	19.00	2.2010	962.9569	2.0513	897.4481	2.0287	887.5346
96	9.60	19.20	2.2349	977.7717	2.0862	912.7062	2.0634	902.7342
97	9.70	19.40	2.2688	992.5864	2.1210	927.9537	2.0981	917.9254
98	9.80	19.60	2.2349	977.7717	2.1558	943.1797	2.1321	932.7913
99	9.90	19.80	2.1333	933.3275	2.1895	957.9077	2.1585	944.3454
100	10.00	20.00	2.0317	888.8833	2.2154	969.2291	2.1707	949.7013

表－8(3)　計算結果（$m=0.6$、$T_a/T_r=0.75$、上流端流入条件[図－11]）

No.	t		上流端流入流量		Kinematic wave 法		一般化貯留関数法	
	無次元	実領域	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q	無次元Q	実領域Q
101	10.10	20.20	1.9301	844.4392	2.2199	971.2070	2.1658	947.5541
102	10.20	20.40	1.8286	799.9950	2.1928	959.3708	2.1434	937.7396
103	10.30	20.60	1.7270	755.5508	2.1361	934.5341	2.1048	920.8283
104	10.40	20.80	1.6254	711.1067	2.0595	901.0202	2.0521	897.7880
105	10.50	21.00	1.5238	666.6625	1.9728	863.1063	1.9880	869.7325
106	10.60	21.20	1.4222	622.2183	1.8822	823.4644	1.9149	837.7569
107	10.70	21.40	1.3206	577.7742	1.7906	783.3659	1.8351	802.8447
108	10.80	21.60	1.2190	533.3300	1.6990	743.3176	1.7505	765.8274
109	10.90	21.80	1.1175	488.8858	1.6080	703.5077	1.6626	727.3777
110	11.00	22.00	1.0159	444.4417	1.5178	664.0166	1.5726	688.0225
111	11.10	22.20	0.9143	399.9975	1.4283	624.8959	1.4815	648.1639
112	11.20	22.40	0.8127	355.5533	1.3399	586.1944	1.3900	608.1040
113	11.30	22.60	0.7111	311.1092	1.2525	547.9662	1.2984	568.0681
114	11.40	22.80	0.6095	266.6650	1.1663	510.2737	1.2074	528.2247
115	11.50	23.00	0.5079	222.2208	1.0816	473.1895	1.1170	488.7029
116	11.60	23.20	0.4063	177.7767	0.9984	436.7989	1.0277	449.6067
117	11.70	23.40	0.3048	133.3325	0.9170	401.2015	0.9395	411.0257
118	11.80	23.60	0.2032	88.8883	0.8377	366.5135	0.8527	373.0445
119	11.90	23.80	0.1016	44.4442	0.7608	332.8702	0.7674	335.7508
120	12.00	24.00	0.0000	0.0000	0.6867	300.4275	0.6840	299.2415
121	12.10	24.20	0.0000	0.0000	0.6157	269.3619	0.6037	264.1342
122	12.20	24.40	0.0000	0.0000	0.5483	239.8693	0.5294	231.6223
123	12.30	24.60	0.0000	0.0000	0.4849	212.1588	0.4624	202.2952
124	12.40	24.80	0.0000	0.0000	0.4262	186.4409	0.4029	176.2895
125	12.50	25.00	0.0000	0.0000	0.3724	162.9035	0.3508	153.4851
126	12.60	25.20	0.0000	0.0000	0.3238	141.6792	0.3054	133.6314
127	12.70	25.40	0.0000	0.0000	0.2807	122.8177	0.2661	116.4232
128	12.80	25.60	0.0000	0.0000	0.2429	106.2754	0.2321	101.5458
129	12.90	25.80	0.0000	0.0000	0.2101	91.9253	0.2027	88.6982
130	13.00	26.00	0.0000	0.0000	0.1819	79.5810	0.1774	77.6055
131	13.10	26.20	0.0000	0.0000	0.1578	69.0241	0.1555	68.0230
132	13.20	26.40	0.0000	0.0000	0.1372	60.0275	0.1365	59.7363
133	13.30	26.60	0.0000	0.0000	0.1197	52.3726	0.1201	52.5603
134	13.40	26.80	0.0000	0.0000	0.1048	45.8593	0.1059	46.3358
135	13.50	27.00	0.0000	0.0000	0.0921	40.3107	0.0935	40.9267
136	13.60	27.20	0.0000	0.0000	0.0813	35.5738	0.0828	36.2171
137	13.70	27.40	0.0000	0.0000	0.0720	31.5187	0.0734	32.1083
138	13.80	27.60	0.0000	0.0000	0.0641	28.0361	0.0652	28.5164
139	13.90	27.80	0.0000	0.0000	0.0572	25.0346	0.0580	25.3698
140	14.00	28.00	0.0000	0.0000	0.0513	22.4382	0.0517	22.6077

第 14 回　流出解析ゼミ

― 複合流域における貯留関数法の最適化 ―

[問題 1]

湧別川水系における流域・河道網が本論中の**図－6** に示されている。**表－6** には平成 13 年 9 月洪水時の湧別川・丸瀬布地点における直接流出高及び流域平均有効雨量、ならびに分割流域の流域平均有効雨量が示されている。このデータを用いて、複合流域における**有効雨量を用いた一般化貯留関数法**のパラメータ f_c を同定せよ。

また、**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の精度評価指標を計算せよ。

なお、計算時間間隔は $T=1/10$、流出率は $f=0.6406$（**「第 3 回ゼミ」**参照）、モデル定数 f_c の初期値を $f_c=3.0$ とせよ。湧別川水系における河道洪水追跡に必要な河道定数は、本ゼミ中の**表－4** に示されているので参照せよ。

[問題 2]

表－7 には平成 13 年 9 月洪水時の湧別川・丸瀬布地点及び開盛地点における実績流量及び流域平均雨量、ならびに分割流域の流域平均雨量が示されている。次に掲げる 2 種の貯留関数型流出モデル定数の最適化を丸瀬布地点及び開盛地点について行え。

(i) 複合流域における**損失項を含む貯留関数法（1 段タンク型非線形貯留関数モデル）**のパラメータ c_{11}，c_{12} 及び c_{13} の同定

(ii) 複合流域における**地下水流出を含む貯留関数法（2 段タンク型非線形貯留関数モデル）**のパラメータ c_{11}，c_{12} 及び c_{13} の同定

また、**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の精度評価指標を計算せよ。

なお、(i)の場合は減衰係数 $\lambda=0.014$（湧別川水系における既往 32 洪水例の平均値）とし、(ii)の場合は分離時定数 $T_c=75.8$（湧別川水系における既往 32 洪水例の平均値）及び $\delta=2.1$ とせよ。

いずれの場合も、計算時間間隔は $T=1/10$、モデル定数 c_{11}，c_{12} 及び c_{13} の初期値をそれぞれ $c_{11}=10.0$，$c_{12}=0.15$ 及び $c_{13}=1.5$ とせよ。河道での洪水追跡に必要な定数は**表－4** を参照せよ。

また、分割流域での初期流出高は、流量観測基準点（丸瀬布と開盛）のそれに面積比率を乗じて設定せよ。

[問題 3]

[問題 2]で述べた 2 種の貯留関数型流出モデルについて、**丸瀬布地点の実績流量を上流端境界条件**として、丸瀬布より下流部でのデータを用いて、それぞれのモデル定数の最適化を開盛地点にて行え。

また、**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種の精度評価指標を計算せよ。

なお、(i)の場合は減衰係数 $\lambda=0.014$（湧別川水系における既往 32 洪水例の平均値）とし、(ii)の場合は分離時定数 $T_c=75.8$（湧別川水系における既往 32 洪水例の平均値）及び $\delta=2.1$ とせよ。

いずれの場合も、計算時間間隔は $T=1/10$、モデル定数 c_{11}，c_{12} 及び c_{13} の初期値をそれぞれ

$c_{11}=10.0$，$c_{12}=0.15$ 及び $c_{13}=1.5$ とせよ。河道追跡用の河道定数は**表－4** を参照せよ。

（注意）　上流端流入量境界条件として、丸瀬布地点の実績ハイドログラフを用いる場合、丸瀬布地点より下流の分割流域における降雨量を使用することになる。したがって、開盛地点での流域平均雨量は、次式で計算される。

$$R_{ave}=\frac{R_7\times A_7+\cdots+R_{14}\times A_{14}}{A_7+\cdots+A_{14}}$$

ここで、R_{ave}：開盛地点における流域平均雨量、R_i：分割流域平均雨量$(i=7\sim14)$、A_i：分割流域面積$(i=7\sim14)$

表－6(1)　湧別川・丸瀬布地点及び分割流域洪水資料

[平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 20 時～14 日 16 時　93 時間]

流域面積(km^2)				802.00		130.17	143.80	82.94	280.31	44.18	120.60
N0.	月	日	時	丸瀬布地点直接流出高	丸瀬布流域平均有効雨量	分割流域の流域平均有効雨量(mm/h) 流出率:0.6406					
				mm/h	mm/h	1-流域	2-流域	3-流域	4-流域	5-流域	6-流域
1	9	10	20	0.0000	1.3618	1.6399	1.3709	1.4285	1.3773	0.8584	1.1531
2			21	0.0034	1.9507	2.2037	2.4727	1.6848	1.8129	1.3260	1.7873
3			22	0.0164	1.9781	2.2805	2.0115	2.2485	1.6976	1.7040	2.1780
4			23	0.0235	5.1861	5.1248	5.1248	5.3170	5.1248	5.5092	5.2593
5			24	0.1295	4.8086	4.7661	5.0351	4.6508	5.0287	4.9967	4.1127
6	9	11	1	0.2301	4.0878	4.5611	4.0230	4.5995	3.3952	3.5425	5.1120
7			2	0.3852	3.9747	4.5611	4.0230	4.6508	3.4016	3.7475	4.2344
8			3	0.5908	2.8821	2.5624	2.5624	2.8379	3.2094	3.3760	2.6969
9			4	0.8292	3.2593	3.5617	3.2927	3.5297	2.9788	2.9852	3.4592
10			5	0.9603	3.6943	3.8436	3.8436	3.5810	3.8436	3.3760	3.2030
11			6	1.0711	3.3194	3.4849	3.7539	2.9788	3.4208	2.7802	2.8186
12			7	1.1417	3.4514	3.5617	3.2927	3.7667	3.3055	3.5874	3.5938
13			8	1.1912	3.7827	3.8436	3.8436	3.6514	3.8436	3.4656	3.7091
14			9	1.2659	3.1147	3.2030	3.2030	3.1325	3.2030	3.1133	2.6969
15			10	1.4011	2.2012	1.9218	1.9218	2.2229	2.2485	2.6072	2.5624
16			11	1.5520	2.5624	2.5624	2.5624	2.5624	2.5624	2.5624	2.5624
17			12	1.7384	3.0866	2.9211	2.6521	3.4272	2.9852	3.6258	3.5874
18			13	1.8573	4.4135	4.4073	4.9454	3.8884	4.5995	4.0614	3.8436
19			14	1.9209	4.1928	4.1255	4.3945	3.8884	4.3817	4.0614	3.8436
20			15	2.0257	4.0960	3.8436	3.8436	4.2664	4.1703	4.8237	4.1127
21			16	2.1540	0.8757	0.6406	0.6406	0.9097	0.9673	1.2812	1.0250
22			17	2.3507	0.7015	0.6406	0.6406	0.8328	0.6406	1.0186	0.7751
23			18	2.5898	0.8122	0.6406	0.6406	0.7175	0.9609	0.8968	0.8904
24			19	2.6423	1.3855	1.2812	1.2812	1.5054	1.2812	1.7040	1.6656
25			20	2.7457	1.5606	1.2812	1.2812	1.5823	1.6079	1.9666	1.9218
26			21	2.6586	1.9218	1.9218	1.9218	1.9218	1.9218	1.9218	1.9218
27			22	2.5727	0.8757	0.6406	0.6406	0.9097	0.9673	1.2812	1.0250
28			23	2.4766	1.7301	1.9218	1.9218	1.6848	1.5951	1.3260	1.7873
29			24	2.3154	1.2501	0.9993	0.7303	1.5182	1.3837	1.8770	1.4157
30	9	12	1	2.1805	0.6406	0.6406	0.6406	0.6406	0.6406	0.6406	0.6406
31			2	2.0805	0.7449	0.6406	0.6406	0.8648	0.6406	1.0634	1.0250
32			3	1.9416	0.4199	0.3587	0.0897	0.6406	0.4228	0.6406	0.6406
33			4	1.8865	0.2351	0.0000	0.0000	0.2691	0.3267	0.6406	0.3844
34			5	1.7925	0.7015	0.6406	0.6406	0.8328	0.6406	1.0186	0.7751
35			6	1.6716	0.4199	0.3587	0.0897	0.6406	0.4228	0.6406	0.6406
36			7	1.6103	1.2249	0.9225	1.1915	0.9545	1.5054	1.4990	1.0250
37			8	1.5499	0.9932	0.9993	0.7303	1.4285	0.7431	1.4478	1.4157
38			9	1.4722	0.6095	0.3587	0.0897	0.8776	0.7431	1.2364	0.7751
39			10	1.4049	0.7449	0.6406	0.6406	0.8648	0.6406	1.0634	1.0250
40			11	1.3301	0.8757	0.6406	0.6406	0.9097	0.9673	1.2812	1.0250
41			12	1.2911	0.4362	0.3587	0.0897	0.7943	0.4228	0.9801	0.5189
42			13	1.2696	0.6406	0.6406	0.6406	0.6406	0.6406	0.6406	0.6406
43			14	1.2312	0.4558	0.2819	0.5509	0.2691	0.5445	0.6406	0.3844
44			15	1.2099	0.4199	0.3587	0.0897	0.6406	0.4228	0.6406	0.6406
45			16	1.1555	0.1043	0.0000	0.0000	0.2242	0.0000	0.4228	0.3844

表－6(2)　湧別川・丸瀬布及び分割流域洪水資料

[平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 20 時～14 日 16 時　93 時間]

流域面積(km^2)				802.00		130.17	143.80	82.94	280.31	44.18	120.60
N0.	月	日	時	丸瀬布地点直接流出高	丸瀬布流域平均有効雨量	分割流域の流域平均雨量(mm/h) 流出率:0.6406					
				mm/h	mm/h	1-流域	2-流域	3-流域	4-流域	5-流域	6-流域
46	9	12	17	1.0778	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
47			18	1.0494	0.7114	0.4400	0.8600	0.4200	0.8500	1.0000	0.6000
48			19	0.9743	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
49			20	0.9854	0.2007	0.0000	0.0000	0.0700	0.5000	0.3400	0.0000
50			21	0.9578	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
51			22	0.9227	0.0957	0.0000	0.0000	0.3000	0.0000	0.6000	0.2100
52			23	0.8580	0.0677	0.0000	0.0000	0.0500	0.0000	0.0700	0.3900
53			24	0.8836	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
54	9	13	1	0.7690	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
55			2	0.7291	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
56			3	0.7177	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
57			4	0.6580	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
58			5	0.6131	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
59			6	0.6289	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60			7	0.5779	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
61			8	0.5867	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
62			9	0.5956	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
63			10	0.5516	0.0957	0.0000	0.0000	0.3000	0.0000	0.6000	0.2100
64			11	0.5603	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
65			12	0.5428	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
66			13	0.5190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
67			14	0.5082	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
68			15	0.4594	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
69			16	0.4487	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70			17	0.4196	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
71			18	0.3789	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
72			19	0.3685	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
73			20	0.3761	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
74			21	0.3361	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
75			22	0.3027	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
76			23	0.3214	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
77			24	0.2996	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
78	9	14	1	0.2667	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
79			2	0.2967	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80			3	0.2467	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
81			4	0.2367	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
82			5	0.2379	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
83			6	0.1950	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
84			7	0.1691	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
85			8	0.1700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
86			9	0.1444	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
87			10	0.1348	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
88			11	0.1097	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
89			12	0.0650	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90			13	0.0806	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
91			14	0.0563	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
92			15	0.0372	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
93			16	0.0183	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

表－7(1)　湧別川実績洪水資料

[平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

流域面積(km^2)				802.00		1334.80		130.17	143.80	82.94	280.31	44.18
N0.	月	日	時	丸瀬布地点実績流量	丸瀬布地点流域平均雨量	開盛地点実績流量	開盛地点流域平均雨量	分割流域の流域平均雨量(mm/h)				
				m^3/s	mm/h	m^3/s	mm/h	1-流域	2-流域	3-流域	4-流域	5-流域
1	9	10	10	9.09	0.00	48.20	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2			11	9.09	0.00	48.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3			12	9.09	0.00	45.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4			13	8.78	0.10	45.63	0.07	0.00	0.00	0.30	0.00	0.60
5			14	8.78	0.34	45.63	0.38	0.00	0.00	0.18	0.50	0.47
6			15	9.09	0.00	45.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7			16	9.09	0.65	45.63	0.94	0.56	0.14	1.00	0.66	1.00
8			17	9.40	4.07	45.63	4.57	4.00	4.00	4.05	4.00	4.07
9			18	9.72	3.45	50.84	3.12	4.56	4.14	3.97	2.64	2.26
10			19	10.69	4.05	56.33	2.78	5.44	5.86	3.67	3.32	1.66
11			20	12.43	2.12	62.10	1.99	2.56	2.14	2.23	2.15	1.34
12			21	16.30	3.05	66.77	2.40	3.44	3.86	2.63	2.83	2.07
13			22	18.86	3.09	72.60	2.60	3.56	3.14	3.51	2.65	2.66
14			23	43.45	8.10	78.68	6.91	8.00	8.00	8.30	8.00	8.60
15			24	66.84	7.51	87.59	7.20	7.44	7.86	7.26	7.85	7.80
16	9	11	1	102.36	6.38	108.30	5.66	7.12	6.28	7.18	5.30	5.53
17			2	149.14	6.20	118.71	5.30	7.12	6.28	7.26	5.31	5.85
18			3	203.24	4.50	137.68	4.38	4.00	4.00	4.43	5.01	5.27
19			4	233.43	5.09	174.25	4.59	5.56	5.14	5.51	4.65	4.66
20			5	259.08	5.77	219.24	5.57	6.00	6.00	5.59	6.00	5.27
21			6	275.79	5.18	291.50	5.05	5.44	5.86	4.65	5.34	4.34
22			7	287.79	5.38	341.30	5.68	5.56	5.14	5.88	5.16	5.60
23			8	305.39	5.90	377.81	6.08	6.00	6.00	5.70	6.00	5.41
24			9	336.51	4.86	419.76	5.07	5.00	5.00	4.89	5.00	4.86
25			10	371.10	3.43	471.49	3.88	3.00	3.00	3.47	3.51	4.07
26			11	413.59	4.00	514.24	4.28	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
27			12	441.05	4.82	571.34	4.98	4.56	4.14	5.35	4.66	5.66
28			13	456.20	6.89	640.27	7.00	6.88	7.72	6.07	7.18	6.34
29			14	480.53	6.55	708.46	6.69	6.44	6.86	6.07	6.84	6.34
30			15	510.10	6.39	765.50	7.00	6.00	6.00	6.66	6.51	7.53
31			16	554.89	1.36	824.74	1.74	1.00	1.00	1.42	1.51	2.00
32			17	609.12	1.10	917.74	1.48	1.00	1.00	1.30	1.00	1.59
33			18	621.79	1.27	971.56	1.42	1.00	1.00	1.12	1.50	1.40
34			19	645.81	2.16	1004.58	2.31	2.00	2.00	2.35	2.00	2.66
35			20	627.38	2.43	958.17	2.86	2.00	2.00	2.47	2.51	3.07
36			21	609.21	3.00	958.17	3.15	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
37			22	588.78	1.36	952.57	2.07	1.00	1.00	1.42	1.51	2.00
38			23	553.86	2.70	919.35	2.78	3.00	3.00	2.63	2.49	2.07
39			24	524.78	1.95	886.71	2.32	1.56	1.14	2.37	2.16	2.93
40	9	12	1	503.48	1.00	881.33	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
41			2	473.50	1.16	875.96	1.47	1.00	1.00	1.35	1.00	1.66
42			3	462.21	0.65	823.21	1.07	0.56	0.14	1.00	0.66	1.00
43			4	442.24	0.36	797.44	0.74	0.00	0.00	0.42	0.51	1.00
44			5	416.29	1.10	777.13	1.07	1.00	1.00	1.30	1.00	1.59
45			6	403.62	0.65	742.20	1.05	0.56	0.14	1.00	0.66	1.00
46			7	391.13	1.19	722.61	1.98	1.44	1.86	1.49	2.35	2.34
47			8	374.80	1.55	688.95	1.97	1.56	1.14	2.23	1.16	2.26
48			9	360.79	0.95	684.20	1.57	0.56	0.14	1.37	1.16	1.93
49			10	345.10	1.16	665.40	1.59	1.00	1.00	1.35	1.00	1.66
50			11	337.39	1.36	660.73	1.34	1.00	1.00	1.42	1.51	2.00
51			12	333.57	0.68	656.09	0.88	0.56	0.14	1.24	0.66	1.53
52			13	325.99	1.00	637.67	1.13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
53			14	322.23	0.71	619.52	0.95	0.44	0.86	0.42	0.85	1.00
54			15	311.09	0.65	615.02	0.92	0.56	0.14	1.00	0.66	1.00
55			16	294.74	0.16	597.20	0.47	0.00	0.00	0.35	0.00	0.66

表－7(2)　湧別川実績洪水資料

[平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

流域面積(km^2)				802.00		1334.80		130.17	143.80	82.94	280.31	44.18
N0.	月	日	時	丸瀬布地点実績流量	丸瀬布地点流域平均雨量	開盛地点実績流量	開盛地点流域平均雨量	分割流域の流域平均雨量(mm/h)				
				m^3/s	mm/h	m^3/s	mm/h	1-流域	2-流域	3-流域	4-流域	5-流域
56	9	12	17	289.39	0.00	579.63	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57			18	273.63	0.71	562.33	0.83	0.44	0.86	0.42	0.85	1.00
58			19	277.10	0.00	549.53	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
59			20	271.91	0.20	532.68	0.15	0.00	0.00	0.07	0.50	0.34
60			21	265.07	0.00	507.91	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61			22	251.65	0.10	495.75	0.20	0.00	0.00	0.30	0.00	0.60
62			23	258.31	0.07	475.80	0.11	0.00	0.00	0.05	0.00	0.07
63			24	233.77	0.00	464.03	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	9	13	1	225.86	0.00	448.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65			2	224.29	0.00	437.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
66			3	211.96	0.00	418.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
67			4	202.94	0.00	407.38	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
68			5	207.43	0.00	396.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
69			6	197.04	0.00	392.90	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70			7	199.98	0.00	382.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
71			8	202.94	0.00	378.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
72			9	194.12	0.00	370.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
73			10	197.04	0.00	365.76	0.07	0.00	0.00	0.30	0.00	0.60
74			11	194.12	0.00	359.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75			12	189.78	0.00	353.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76			13	188.35	0.00	344.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
77			14	178.45	0.00	338.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
78			15	177.06	0.00	334.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
79			16	171.55	0.00	330.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80			17	163.45	0.00	326.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
81			18	162.12	0.00	322.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
82			19	164.79	0.00	316.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
83			20	156.84	0.00	312.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
84			21	150.38	0.00	304.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85			22	155.54	0.00	302.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
86			23	151.66	0.00	299.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
87			24	145.30	0.00	295.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
88	9	14	1	152.95	0.00	291.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
89			2	142.80	0.00	287.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90			3	141.55	0.00	285.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
91			4	142.80	0.00	282.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
92			5	134.20	0.00	275.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
93			6	129.41	0.00	268.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
94			7	130.60	0.00	254.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95			8	125.87	0.00	247.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
96			9	124.70	0.00	234.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
97			10	120.08	0.00	227.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
98			11	111.11	0.00	221.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
99			12	115.55	0.00	214.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100			13	111.11	0.00	208.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
101			14	107.83	0.00	196.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
102			15	104.61	0.00	190.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
103			16	102.48	0.00	184.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104			17	102.48	0.00	172.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105			18	101.43	0.00	172.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
106			19	98.30	0.00	167.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
107			20	97.27	0.00	161.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
108			21	95.22	0.00	156.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
109			22	93.19	0.00	150.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110			23	90.20	0.00	145.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表－7(3)　湧別川実績洪水資料

[平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

流域面積(km^2)				120.60	71.50	47.40	37.20	10.44	169.59	110.81	13.76	72.10
N0.	月	日	時	分割流域の流域平均雨量(mm/h)								
				6-流域	7-流域	8-流域	9-流域	10-流域	11-流域	12-流域	13-流域	14-流域
1	9	10	10	0.00	0.01	0.10	0.94	1.00	0.00	0.53	1.00	0.71
2			11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3			12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4			13	0.21	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5			14	0.79	1.98	0.50	0.12	0.00	0.17	0.00	0.00	0.59
6			15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7			16	1.00	1.00	1.13	1.00	1.00	1.83	1.47	1.00	1.00
8			17	4.39	4.99	4.53	4.06	4.00	6.50	5.41	4.00	4.29
9			18	3.40	2.02	2.42	3.88	4.00	1.83	3.06	4.00	3.41
10			19	3.19	1.99	1.44	1.06	1.00	0.17	0.53	1.00	1.29
11			20	1.80	1.01	1.43	1.94	2.00	2.00	2.00	2.00	1.71
12			21	2.79	2.99	1.89	2.06	2.00	0.34	1.06	2.00	2.29
13			22	3.40	2.99	2.44	2.06	2.00	1.17	1.53	2.00	2.29
14			23	8.21	7.99	7.45	6.12	6.00	3.01	4.12	6.00	6.59
15			24	6.42	5.02	7.32	6.88	7.00	7.17	7.00	7.00	6.41
16	9	11	1	7.98	8.97	5.43	5.24	5.00	2.34	3.59	5.00	6.18
17			2	6.61	5.00	5.27	4.06	4.00	3.17	3.53	4.00	4.29
18			3	4.21	4.00	4.82	4.00	4.00	4.34	4.00	4.00	4.00
19			4	5.40	4.99	4.44	4.06	4.00	3.17	3.53	4.00	4.29
20			5	5.00	4.01	5.18	4.94	5.00	6.00	5.47	5.00	4.71
21			6	4.40	4.00	4.46	4.00	4.00	5.83	4.94	4.00	4.00
22			7	5.61	5.01	5.78	5.94	6.00	6.66	6.47	6.00	5.71
23			8	5.79	6.00	5.71	6.00	6.00	6.83	6.47	6.00	6.00
24			9	4.21	3.02	4.96	4.88	5.00	6.66	5.94	5.00	4.41
25			10	4.00	4.99	4.28	4.06	4.00	4.83	4.47	4.00	4.29
26			11	4.00	4.01	4.23	4.94	5.00	4.83	5.00	5.00	4.71
27			12	5.60	5.99	5.57	5.06	5.00	5.00	5.00	5.00	5.29
28			13	6.00	6.01	6.56	6.94	7.00	7.83	7.47	7.00	6.71
29			14	6.00	5.99	6.49	5.06	5.00	8.66	6.88	5.00	5.29
30			15	6.42	6.02	7.63	7.88	8.00	8.66	8.47	8.00	7.41
31			16	1.60	2.01	2.10	2.94	3.00	2.00	2.53	3.00	2.71
32			17	1.21	1.02	1.75	2.88	3.00	1.83	2.53	3.00	2.41
33			18	1.39	1.99	1.48	1.06	1.00	2.00	1.47	1.00	1.29
34			19	2.60	3.00	2.67	3.00	3.00	2.00	2.53	3.00	3.00
35			20	3.00	4.00	3.25	4.00	4.00	3.00	3.53	4.00	4.00
36			21	3.00	3.00	3.13	3.00	3.00	3.83	3.47	3.00	3.00
37			22	1.60	2.00	2.38	2.00	2.00	4.50	3.41	2.00	2.00
38			23	2.79	3.00	2.38	3.00	3.00	2.83	3.00	3.00	3.00
39			24	2.21	2.00	2.88	2.00	2.00	3.83	2.94	2.00	2.00
40	9	12	1	1.00	1.00	1.26	1.00	1.00	2.66	1.94	1.00	1.00
41			2	1.60	2.00	1.80	2.00	2.00	1.83	2.00	2.00	2.00
42			3	1.00	1.01	1.23	1.94	2.00	1.83	2.00	2.00	1.71
43			4	0.60	1.01	1.10	1.94	2.00	1.00	1.53	2.00	1.71
44			5	1.21	1.00	1.42	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
45			6	1.00	1.01	1.20	2.88	3.00	1.00	2.06	3.00	2.41
46			7	1.60	2.00	2.20	2.00	2.00	2.17	2.00	2.00	2.00
47			8	2.21	2.02	2.42	3.88	4.00	1.83	3.06	4.00	3.41
48			9	1.21	1.02	2.08	2.88	3.00	2.83	3.00	3.00	2.41
49			10	1.60	2.01	1.90	2.94	3.00	1.83	2.53	3.00	2.71
50			11	1.60	1.99	1.77	1.06	1.00	1.17	1.00	1.00	1.29
51			12	0.81	0.02	1.37	1.88	2.00	1.00	1.53	2.00	1.41
52			13	1.00	1.01	1.10	1.94	2.00	1.00	1.53	2.00	1.71
53			14	0.60	1.01	1.10	1.94	2.00	1.00	1.53	2.00	1.71
54			15	1.00	1.01	1.10	1.94	2.00	1.00	1.53	2.00	1.71
55			16	0.60	1.00	0.80	1.00	1.00	0.83	1.00	1.00	1.00

表－7(4)　湧別川実績洪水資料

[平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

流域面積(km^2)				120.60	71.50	47.40	37.20	10.44	169.59	110.81	13.76	72.10
N0.	月	日	時	分割流域の流域平均雨量(mm/h)								
				6-流域	7-流域	8-流域	9-流域	10-流域	11-流域	12-流域	13-流域	14-流域
56	9	12	17	0.00	0.01	0.10	0.94	1.00	0.00	0.53	1.00	0.71
57			18	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
58			19	0.00	0.01	0.23	0.94	1.00	0.83	1.00	1.00	0.71
59			20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00
60			21	0.00	0.01	0.10	0.94	1.00	0.00	0.53	1.00	0.71
61			22	0.21	0.01	0.52	0.94	1.00	0.00	0.53	1.00	0.71
62			23	0.39	0.99	0.15	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
63			24	0.00	0.01	0.23	0.94	1.00	0.83	1.00	1.00	0.71
64	9	13	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65			2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
66			3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
67			4	0.00	0.01	0.10	0.94	1.00	0.00	0.53	1.00	0.71
68			5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
69			6	0.00	0.01	0.10	0.94	1.00	0.00	0.53	1.00	0.71
70			7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
71			8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
72			9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
73			10	0.21	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
74			11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75			12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76			13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
77			14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
78			15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
79			16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80			17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
81			18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
82			19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
83			20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
84			21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
85			22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
86			23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
87			24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
88	9	14	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
89			2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90			3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
91			4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
92			5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
93			6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
94			7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95			8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
96			9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
97			10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
98			11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
99			12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100			13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
101			14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
102			15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
103			16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104			17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105			18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
106			19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
107			20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
108			21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
109			22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110			23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

[解答 1, 2]

湧別川・丸瀬布における各種貯留関数モデルの**単一流域・複合流域**計算による最適化精度評価指標を**表－8** に、実測・計算ハイドログラフの比較を**図－7** に、計算結果を**表－9** に示す。なお、単一流域解析については、**「第 7 回ゼミ」**、**「第 9 回ゼミ」**、**「第 11 回ゼミ」**の演習問題を参照されたい。ただし、それらの演習問題の中で、モデル定数の初期値が今回のものと異なる場合は、収束値及び最適化精度指標が**表－8** の値と異なることに留意されたい。

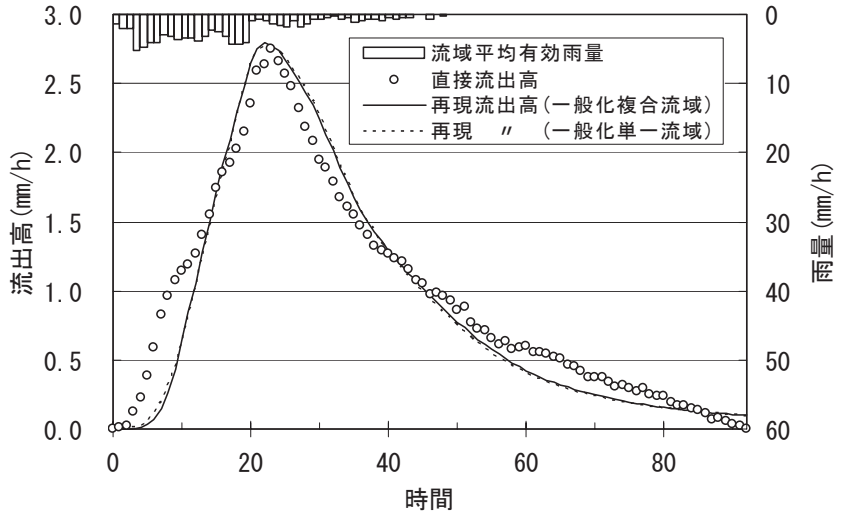
表－8 及び**図－7** に示されるように、3 種の貯留関数モデルに関しては、単一流域解析と複合流域解析の違いによる最適化精度指標、モデル定数の最適値及びハイドログラフに顕著な差異は認められない。しかしながら、分割流域毎の降雨分布や河道貯留の影響を再現した複合流域解析の方が単一流域モデルに比べて、ハイドログラフの相対誤差（J_{re}）、流出波形誤差（E_w）及び流出ボリューム誤差（E_v）の値が小さくなっている。また、単一流域解析に比べて、複合流域解析では河道貯留効果の影響を受けるために、モデル定数 f_c, c_{11} が大きくなっている。c_{12} は複合流域解析の方が幾分小さいがその差は大きくはない。また、c_{13} の値に関しても単一・複合流域モデルにおいて大きな差異は見られない。

複合流域解析において、3 種の貯留関数モデルの結果を比較すると、単一流域解析と同様に、ピーク流量近傍での再現性は一般化貯留関数モデルと 2 段タンク型モデルが良く、流出ボリュームの再現性は 1 段タンク型及び 2 段タンク型モデルが良好であるといえる。

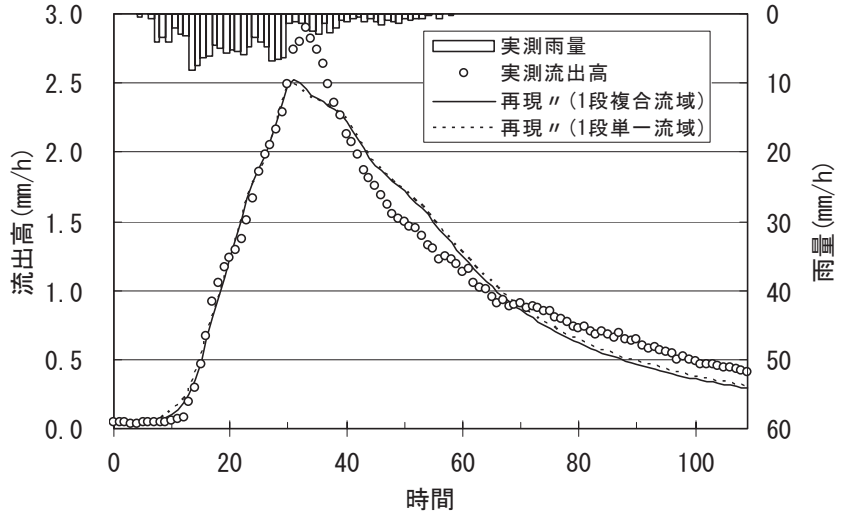
なお、有効雨量を用いた貯留関数法において、単一流域解析の収束回数が複合流域解析に比べて極端に大きくなっているのは、モデル定数の初期値が複合流域モデルの収束値に極めて近かったためと考えられる。

表－8　単一流域・複合流域解析における 3 種類の貯留関数法による最適化結果の比較　　湧別川・丸瀬布　(H13. 9. 11)

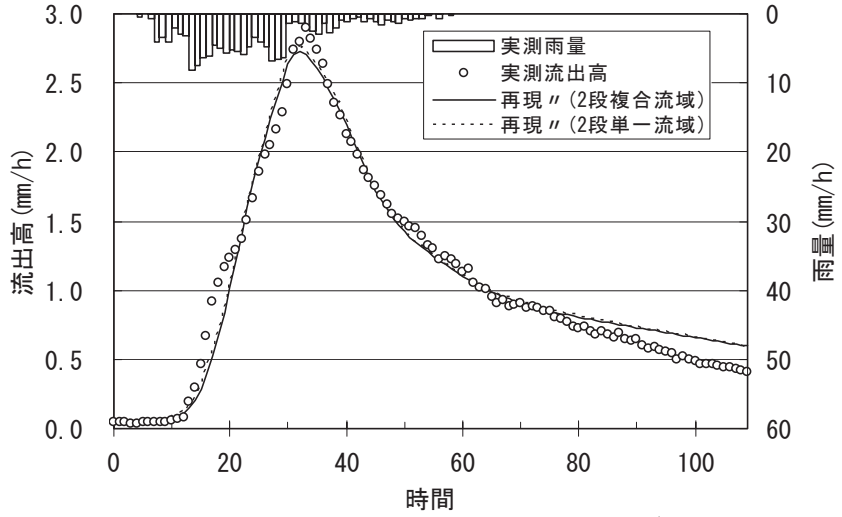
	有効雨量を用いた貯留関数法		損失項を含む貯留関数法		地下水流出を含む貯留関数法	
最適化手法	一階ニュートン法		一階ニュートン法		一階ニュートン法	
流域	単一流域	複合流域	単一流域	複合流域	単一流域	複合流域
収束回数	19	6	6	7	10	9
k_{11}	25.006	35.705	56.623	81.495	40.745	57.932
k_{12}	151.641	309.777	120.299	233.939	307.642	678.457
c_{11}	—	—	11.376	16.373	8.186	11.639
c_{12}	—	—	0.049	0.046	0.242	0.264
c_{13}	—	—	1.171	1.202	1.970	2.017
f_c	1.779	2.541	—	—	—	—
RMSE (mm/h)	0.200	0.200	0.129	0.141	0.127	0.120
KAI2 (mm/h)	0.076	0.079	0.020	0.020	0.031	0.019
J_{pe}	0.009	0.017	0.142	0.130	0.049	0.058
J_{re}	0.254	0.242	0.185	0.167	0.200	0.128
E_w	0.117	0.117	0.086	0.060	0.082	0.035
E	0.005	0.005	0.002	0.002	0.002	0.002
E_v	0.059	0.049	0.025	0.020	−0.064	−0.021
E_p	−0.009	−0.017	0.142	0.130	0.049	0.058



図－7(1)　一般化貯留関数法による単一流域・複合流域解析の比較
[湧別川・丸瀬布　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 20 時～14 日 16 時　93 時間]



図－7(2)　1 段タンク型非線形貯留関数モデルによる
単一流域・複合流域解析の比較
[湧別川・丸瀬布　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]



図－7(3)　2 段タンク型非線形貯留関数モデルによる
単一流域・複合流域解析の比較
[湧別川・丸瀬布　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

表－9(1)　複合流域における有効雨量を用いた一般化貯留関数法の流出高計算結果
湧別川・丸瀬布地点　（平成 13 年 9 月 11 日）

流域面積:　802.0 (km^2)　　平均雨量強度:　1.79 (mm/h)　　単位:(mm/h)

月	日	時	No.	流域平均有効雨量	直接流出高	計算直接流出高	月	日	時	No.	流域平均有効雨量	直接流出高	計算直接流出高
9	10	20	1	1.362	0.003	0.000	9	12	19	48	0.000	0.985	0.915
		21	2	1.951	0.016	0.000			20	49	0.201	0.958	0.867
		22	3	1.978	0.024	0.001			21	50	0.000	0.923	0.820
		23	4	5.186	0.130	0.003			22	51	0.096	0.858	0.775
		24	5	4.809	0.230	0.012			23	52	0.068	0.884	0.732
9	11	1	6	4.088	0.385	0.032			24	53	0.000	0.769	0.690
		2	7	3.975	0.591	0.069	9	13	1	54	0.000	0.729	0.650
		3	8	2.882	0.829	0.144			2	55	0.000	0.718	0.611
		4	9	3.259	0.960	0.258			3	56	0.000	0.658	0.574
		5	10	3.694	1.071	0.429			4	57	0.000	0.613	0.539
		6	11	3.319	1.142	0.643			5	58	0.000	0.629	0.507
		7	12	3.451	1.191	0.849			6	59	0.000	0.578	0.476
		8	13	3.783	1.266	1.058			7	60	0.000	0.587	0.448
		9	14	3.115	1.401	1.281			8	61	0.000	0.596	0.422
		10	15	2.201	1.552	1.507			9	62	0.000	0.552	0.397
		11	16	2.562	1.738	1.718			10	63	0.096	0.560	0.375
		12	17	3.087	1.857	1.911			11	64	0.000	0.543	0.354
		13	18	4.414	1.921	2.096			12	65	0.000	0.519	0.335
		14	19	4.193	2.026	2.285			13	66	0.000	0.508	0.317
		15	20	4.096	2.154	2.479			14	67	0.000	0.459	0.301
		16	21	0.876	2.351	2.651			15	68	0.000	0.449	0.285
		17	22	0.702	2.590	2.756			16	69	0.000	0.420	0.271
		18	23	0.812	2.642	2.793			17	70	0.000	0.379	0.257
		19	24	1.386	2.746	2.778			18	71	0.000	0.369	0.244
		20	25	1.561	2.659	2.734			19	72	0.000	0.376	0.233
		21	26	1.922	2.573	2.674			20	73	0.000	0.336	0.221
		22	27	0.876	2.477	2.602			21	74	0.000	0.303	0.211
		23	28	1.730	2.315	2.518			22	75	0.000	0.321	0.201
		24	29	1.250	2.181	2.432			23	76	0.000	0.300	0.192
9	12	1	30	0.641	2.081	2.340			24	77	0.000	0.267	0.184
		2	31	0.745	1.942	2.238	9	14	1	78	0.000	0.297	0.176
		3	32	0.420	1.887	2.129			2	79	0.000	0.247	0.168
		4	33	0.235	1.793	2.013			3	80	0.000	0.237	0.161
		5	34	0.702	1.672	1.895			4	81	0.000	0.238	0.155
		6	35	0.420	1.610	1.781			5	82	0.000	0.195	0.148
		7	36	1.225	1.550	1.674			6	83	0.000	0.169	0.143
		8	37	0.993	1.472	1.582			7	84	0.000	0.170	0.137
		9	38	0.610	1.405	1.500			8	85	0.000	0.144	0.132
		10	39	0.745	1.330	1.425			9	86	0.000	0.135	0.127
		11	40	0.876	1.291	1.357			10	87	0.000	0.110	0.122
		12	41	0.436	1.270	1.295			11	88	0.000	0.065	0.118
		13	42	0.641	1.231	1.236			12	89	0.000	0.081	0.114
		14	43	0.456	1.210	1.179			13	90	0.000	0.056	0.110
		15	44	0.420	1.156	1.125			14	91	0.000	0.037	0.106
		16	45	0.104	1.078	1.072			15	92	0.000	0.018	0.102
		17	46	0.000	1.049	1.018			16	93	0.000	0.004	0.099
		18	47	0.711	0.974	0.965							

表－9(2)　複合流域における 1 段・2 段タンク型非線形貯留関数モデルの流出高計算結果の比較
湧別川・丸瀬布地点　（平成 13 年 9 月 11 日）

流域面積:　802.0 (km^2)　　平均雨量強度:　2.74 (mm/h)　　単位:(mm/h)

月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	1段タンク型計算流出高	2段タンク型計算流出高	月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	1段タンク型計算流出高	2段タンク型計算流出高
9	10	10	1	0.000	0.041	0.041	0.041	9	12	17	56	0.000	1.299	1.496	1.246
		11	2	0.000	0.041	0.041	0.041			18	57	0.710	1.228	1.443	1.214
		12	3	0.000	0.041	0.041	0.041			19	58	0.000	1.244	1.393	1.184
		13	4	0.100	0.039	0.041	0.041			20	59	0.200	1.221	1.343	1.156
		14	5	0.340	0.039	0.042	0.041			21	60	0.000	1.190	1.294	1.128
		15	6	0.000	0.041	0.042	0.041			22	61	0.100	1.130	1.246	1.102
		16	7	0.650	0.041	0.044	0.041			23	62	0.070	1.160	1.200	1.077
		17	8	4.070	0.042	0.049	0.043			24	63	0.000	1.049	1.154	1.053
		18	9	3.450	0.044	0.061	0.048	9	13	1	64	0.000	1.014	1.111	1.031
		19	10	4.050	0.048	0.081	0.056			2	65	0.000	1.007	1.068	1.009
		20	11	2.120	0.056	0.107	0.068			3	66	0.000	0.951	1.028	0.989
		21	12	1.000	0.073	0.141	0.086			4	67	0.000	0.911	0.990	0.971
		22	13	3.090	0.085	0.187	0.109			5	68	0.000	0.931	0.954	0.953
		23	14	8.100	0.195	0.255	0.145			6	69	0.000	0.885	0.920	0.937
		24	15	7.510	0.300	0.355	0.200			7	70	0.000	0.898	0.887	0.922
9	11	1	16	6.380	0.460	0.488	0.281			8	71	0.000	0.911	0.856	0.908
		2	17	6.200	0.670	0.642	0.389			9	72	0.000	0.871	0.827	0.894
		3	18	4.500	0.912	0.800	0.522			10	73	0.000	0.885	0.799	0.882
		4	19	5.090	1.048	0.951	0.674			11	74	0.000	0.871	0.774	0.871
		5	20	5.770	1.163	1.095	0.841			12	75	0.000	0.852	0.749	0.860
		6	21	5.180	1.238	1.237	1.020			13	76	0.000	0.846	0.725	0.850
		7	22	5.380	1.292	1.379	1.208			14	77	0.000	0.801	0.702	0.840
		8	23	5.900	1.371	1.524	1.404			15	78	0.000	0.795	0.679	0.831
		9	24	4.860	1.511	1.667	1.601			16	79	0.000	0.770	0.658	0.822
		10	25	3.430	1.666	1.791	1.788			17	80	0.000	0.734	0.638	0.813
		11	26	4.000	1.857	1.889	1.956			18	81	0.000	0.728	0.619	0.805
		12	27	4.820	1.980	1.979	2.105			19	82	0.000	0.740	0.600	0.797
		13	28	6.890	2.048	2.083	2.243			20	83	0.000	0.704	0.582	0.789
		14	29	6.550	2.157	2.213	2.380			21	84	0.000	0.675	0.565	0.781
		15	30	6.390	2.290	2.365	2.518			22	85	0.000	0.698	0.549	0.773
		16	31	1.360	2.491	2.484	2.639			23	86	0.000	0.681	0.533	0.766
		17	32	1.100	2.734	2.521	2.710			24	87	0.000	0.652	0.518	0.759
		18	33	1.270	2.791	2.498	2.729	9	14	1	88	0.000	0.687	0.504	0.751
		19	34	2.160	2.899	2.455	2.709			2	89	0.000	0.641	0.490	0.744
		20	35	2.430	2.816	2.417	2.663			3	90	0.000	0.635	0.477	0.737
		21	36	3.000	2.735	2.389	2.604			4	91	0.000	0.641	0.464	0.730
		22	37	1.360	2.643	2.363	2.533			5	92	0.000	0.602	0.452	0.723
		23	38	2.700	2.486	2.333	2.454			6	93	0.000	0.581	0.440	0.716
		24	39	1.950	2.356	2.307	2.372			7	94	0.000	0.586	0.428	0.709
9	12	1	40	1.000	2.260	2.273	2.286			8	95	0.000	0.565	0.417	0.702
		2	41	1.160	2.125	2.224	2.195			9	96	0.000	0.560	0.407	0.694
		3	42	0.650	2.075	2.166	2.100			10	97	0.000	0.539	0.396	0.687
		4	43	0.360	1.985	2.097	2.003			11	98	0.000	0.499	0.387	0.680
		5	44	1.100	1.869	2.026	1.905			12	99	0.000	0.519	0.377	0.673
		6	45	0.650	1.812	1.960	1.811			13	100	0.000	0.499	0.368	0.666
		7	46	1.190	1.756	1.903	1.725			14	101	0.000	0.484	0.359	0.659
		8	47	1.550	1.682	1.863	1.649			15	102	0.000	0.470	0.351	0.652
		9	48	0.950	1.620	1.828	1.584			16	103	0.000	0.460	0.342	0.645
		10	49	1.160	1.549	1.791	1.525			17	104	0.000	0.460	0.334	0.638
		11	50	1.360	1.515	1.754	1.473			18	105	0.000	0.455	0.327	0.631
		12	51	0.680	1.497	1.718	1.427			19	106	0.000	0.441	0.319	0.624
		13	52	1.000	1.463	1.678	1.385			20	107	0.000	0.437	0.312	0.617
		14	53	0.710	1.446	1.635	1.347			21	108	0.000	0.427	0.305	0.609
		15	54	0.650	1.396	1.593	1.312			22	109	0.000	0.418	0.298	0.602
		16	55	0.160	1.323	1.548	1.279			23	110	0.000	0.405	0.291	0.595

[解答 2, 3]

湧別川・開盛地点における 1･2 段タンク型非線形貯留関数モデルの複合流域計算について、上流端境界条件に丸瀬布の実績流量を与えた場合と与えない場合による最適化精度評価指標を**表－10** に、実測・計算ハイドログラフの比較を**図－8** に、計算結果を**表－11** 及び**表－12** に示す。

1 段タンク型モデルでは、上流端境界条件がある場合、**図－8(1)**からも明らかなようにハイドログラフの再現性が良い。**表－10** に示されるように、上流端境界条件がある場合は、ない場合に比べて精度指標 8 種中 7 種で誤差が小さくなっており、とくにピーク相対誤差(J_{pe})及びピーク流出高誤差(E_p)の低減率が大きく、ピーク流量の再現精度が向上したことが分かる。

2 段タンク型モデルでは、**図－8(2)**に示されるように、ハイドログラフの立ち上がり部については上流端境界条件がない場合が実績値に近く、ピーク部及び減衰部は上流端境界条件がある場合が実績値に近い。**表－10** の精度指標を見ると、上流端境界条件がある場合は、ない場合に比べてピーク相対誤差(J_{pe})及びピーク流出高誤差(E_p)が小さく、流出ボリューム誤差(E_v)も小さいことが分かる。しかしながら、ハイドログラフの相対誤差(J_{re})については顕著な差異は認められない。

1･2 段タンク型モデルともに、上流端境界条件がある場合は、上流域の実績流量を入力した分だけ降雨を流量に変換する際の誤差及び流出計算に伴う誤差が小さくなり、下流の基準点における計算値の精度が向上すると考えられる。

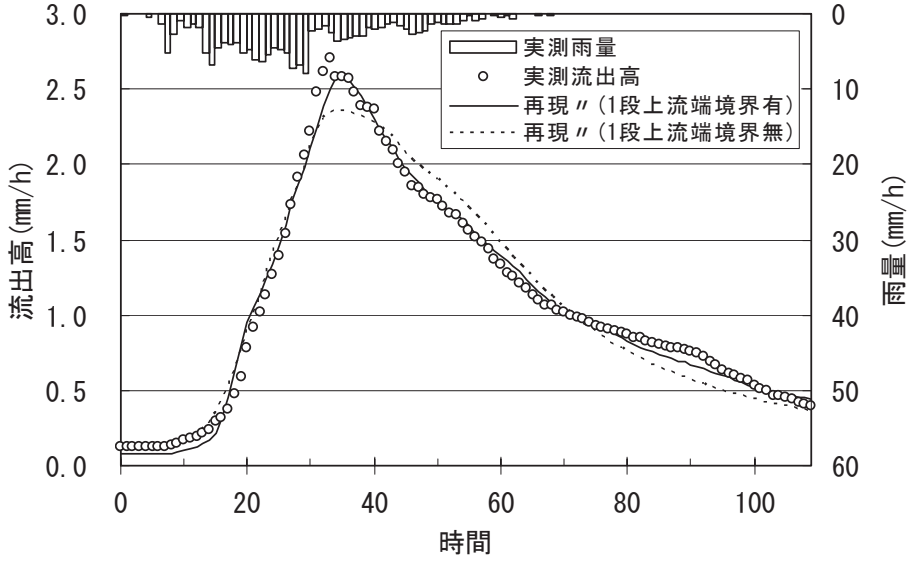
また、モデル定数c_{11}は 1･2 段タンク型モデルともに、上流端境界条件がない場合の方が、ある場合に比べて小さい。理由は明確でないが、上流端境界条件がない場合は流域数が 14 個(流域面積：A_{14}=1334.8 km^2)であり、ある場合は 7 個(A_7= 1334.8-802.0 = 532.8 km^2)となる。したがって、上流端境界条件がない場合は、c_{11}が流域全体で平滑化されるため、小さくなったものと考えられる。c_{12}及びc_{13}は上流端条件がある場合の方が幾分小さいが、その差は大きくはない。

表－10　複合流域における 2 種類の貯留関数法による最適化結果の比較
（上流端境界条件：丸瀬布実績流量）　　湧別川・開盛地点　(H13. 9. 11)

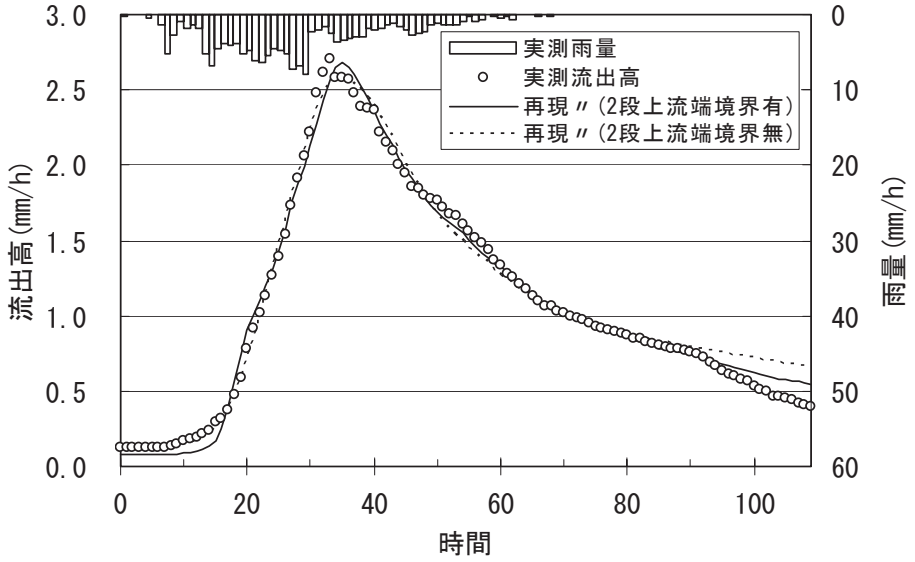
	損失項を含む貯留関数法		地下水流出を含む貯留関数法	
最適化手法	一階ニュートン法		一階ニュートン法	
上流端流入	上流端境界あり	上流端境界なし	上流端境界あり	上流端境界なし
収束回数	7	7	7	6
k_{11}	128.361	87.985	85.957	58.034
k_{12}	537.321	334.759	1,336.691	738.790
c_{11}	22.821	19.500	15.282	12.862
c_{12}	0.042	0.055	0.233	0.279
c_{13}	1.196	1.261	2.006	2.076
RMSE (mm/h)	0.070	0.124	0.072	0.093
KAI2 (mm/h)	0.007	0.014	0.010	0.014
J_{pe}	0.044	0.131	0.012	0.046
J_{re}	0.099	0.113	0.116	0.093
E_w	0.025	0.019	0.036	0.030
E	0.001	0.002	0.001	0.001
E_v	0.005	0.008	−0.005	−0.022
E_p	0.044	0.131	0.012	0.046

上流端境界条件がある場合の 1 段・2 段タンク型モデルの計算結果を比較すると、顕著な差異は見られないが、2 段タンク型モデルの方がピーク相対誤差(J_{pe})及びピーク流出高誤差(E_p)が小さく、ピーク近傍での再現精度が良いといえる。以上の考察により、河川計画・管理上、上流地点で実績流量が得られる場合には、それを上流端境界条件として下流基準点の流出計算を行えば、再現精度の向上が期待されると考えられる。

文責　宮武　真由子



図－8(1)　複合流域における 1 段タンク型非線形貯留関数モデルによる
開盛地点ハイドログラフの比較　　(上流端境界条件：丸瀬布実績流量)
[湧別川・開盛地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]



図－8(2)　複合流域における 2 段タンク型非線形貯留関数モデルによる
開盛地点ハイドログラフの比較　　(上流端境界条件：丸瀬布実績流量)
[湧別川・開盛地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

表－11　複合流域における 1 段タンク型非線形貯留関数モデルの流出高計算結果の比較
（上流端境界条件：丸瀬布実績流量）　湧別川・開盛地点　（平成 13 年 9 月 11 日）

流域面積:　1334.8 (km^2)　　流域平均雨量強度:（上流端境界あり）　2.60 (mm/h)
（上流端境界なし）　2.48 (mm/h)

単位:(mm/h)

月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	1段タンク型計算流出高（上流端境界条件あり）	1段タンク型計算流出高（上流端境界条件なし）	月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	1段タンク型計算流出高（上流端境界条件あり）	1段タンク型計算流出高（上流端境界条件なし）
9	10	10	1	0.328	0.130	0.077	0.130	9	12	17	56	0.328	1.563	1.591	1.714
		11	2	0.000	0.130	0.077	0.131			18	57	1.000	1.517	1.542	1.670
		12	3	0.000	0.123	0.077	0.131			19	58	0.701	1.482	1.497	1.623
		13	4	0.037	0.123	0.078	0.131			20	59	0.072	1.437	1.455	1.574
		14	5	0.453	0.123	0.078	0.131			21	60	0.328	1.370	1.426	1.524
		15	6	0.000	0.123	0.078	0.131			22	61	0.365	1.337	1.397	1.476
		16	7	1.374	0.123	0.078	0.132			23	62	0.190	1.283	1.359	1.427
		17	8	5.312	0.123	0.080	0.134			24	63	0.701	1.252	1.320	1.379
		18	9	2.619	0.137	0.085	0.141	9	13	1	64	0.000	1.210	1.287	1.333
		19	10	0.853	0.152	0.093	0.152			2	65	0.000	1.179	1.236	1.288
		20	11	1.773	0.168	0.103	0.166			3	66	0.000	1.129	1.189	1.243
		21	12	1.443	0.180	0.115	0.185			4	67	0.328	1.099	1.154	1.200
		22	13	1.853	0.196	0.128	0.210			5	68	0.000	1.069	1.116	1.159
		23	14	5.142	0.212	0.144	0.243			6	69	0.328	1.060	1.081	1.119
		24	15	6.729	0.236	0.169	0.288			7	70	0.000	1.033	1.058	1.082
9	11	1	16	4.608	0.292	0.213	0.349			8	71	0.000	1.021	1.033	1.046
		2	17	3.929	0.320	0.302	0.427			9	72	0.000	0.998	1.016	1.011
		3	18	4.181	0.371	0.452	0.526			10	73	0.037	0.987	1.001	0.977
		4	19	3.853	0.470	0.633	0.643			11	74	0.000	0.969	0.981	0.945
		5	20	5.256	0.591	0.810	0.766			12	75	0.000	0.953	0.962	0.914
		6	21	4.819	0.786	0.950	0.890			13	76	0.000	0.930	0.945	0.885
		7	22	6.112	0.921	1.057	1.012			14	77	0.000	0.914	0.924	0.857
		8	23	6.336	1.019	1.147	1.138			15	78	0.000	0.903	0.902	0.830
		9	24	5.366	1.132	1.233	1.268			16	79	0.000	0.892	0.875	0.805
		10	25	4.563	1.272	1.332	1.398			17	80	0.000	0.881	0.851	0.780
		11	26	4.701	1.387	1.456	1.525			18	81	0.000	0.870	0.828	0.757
		12	27	5.227	1.541	1.600	1.642			19	82	0.000	0.854	0.802	0.734
		13	28	7.147	1.727	1.746	1.752			20	83	0.000	0.843	0.784	0.713
		14	29	6.865	1.911	1.870	1.862			21	84	0.000	0.822	0.772	0.692
		15	30	7.921	2.065	1.981	1.982			22	85	0.000	0.817	0.753	0.672
		16	31	2.328	2.224	2.106	2.112			23	86	0.000	0.807	0.732	0.653
		17	32	2.065	2.475	2.242	2.231			24	87	0.000	0.797	0.720	0.635
		18	33	1.635	2.620	2.390	2.313	9	14	1	88	0.000	0.786	0.709	0.618
		19	34	2.555	2.709	2.502	2.349			2	89	0.000	0.776	0.695	0.601
		20	35	3.517	2.584	2.568	2.356			3	90	0.000	0.771	0.686	0.585
		21	36	3.374	2.584	2.591	2.350			4	91	0.000	0.761	0.672	0.569
		22	37	3.123	2.569	2.564	2.340			5	92	0.000	0.743	0.656	0.554
		23	38	2.891	2.480	2.518	2.329			6	93	0.000	0.724	0.644	0.540
		24	39	2.856	2.392	2.454	2.317			7	94	0.000	0.686	0.628	0.526
9	12	1	40	1.747	2.377	2.375	2.302			8	95	0.000	0.668	0.609	0.513
		2	41	1.928	2.363	2.301	2.281			9	96	0.000	0.632	0.595	0.500
		3	42	1.701	2.220	2.228	2.254			10	97	0.000	0.614	0.583	0.488
		4	43	1.328	2.151	2.162	2.219			11	98	0.000	0.597	0.571	0.476
		5	44	1.037	2.096	2.104	2.175			12	99	0.000	0.580	0.556	0.464
		6	45	1.652	2.002	2.037	2.124			13	100	0.000	0.563	0.537	0.453
		7	46	2.072	1.949	1.970	2.073			14	101	0.000	0.530	0.524	0.443
		8	47	2.619	1.858	1.920	2.026			15	102	0.000	0.513	0.516	0.432
		9	48	2.510	1.845	1.878	1.988			16	103	0.000	0.498	0.504	0.422
		10	49	2.256	1.795	1.836	1.957			17	104	0.000	0.466	0.491	0.413
		11	50	1.299	1.782	1.793	1.929			18	105	0.000	0.466	0.480	0.403
		12	51	1.174	1.770	1.751	1.897			19	106	0.000	0.451	0.471	0.394
		13	52	1.328	1.720	1.719	1.865			20	107	0.000	0.436	0.465	0.386
		14	53	1.328	1.671	1.692	1.830			21	108	0.000	0.422	0.457	0.377
		15	54	1.328	1.659	1.665	1.794			22	109	0.000	0.407	0.448	0.369
		16	55	0.928	1.611	1.635	1.755			23	110	0.000	0.393	0.439	0.361

表－12　複合流域における 2 段タンク型非線形貯留関数モデルの流出高計算結果の比較
（上流端境界条件：丸瀬布実績流量）　　湧別川・開盛地点　（平成 13 年 9 月 11 日）

流域面積:　1334.8 (km^2)　　流域平均雨量強度:　（上流端境界あり）　2.60 (mm/h)
（上流端境界なし）　2.48 (mm/h)

単位:(mm/h)

月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	2段タンク型計算流出高（上流端境界条件あり）	2段タンク型計算流出高（上流端境界条件なし）	月	日	時	No.	実測雨量	実測流出高	2段タンク型計算流出高（上流端境界条件あり）	2段タンク型計算流出高（上流端境界条件なし）
9	10	10	1	0.328	0.130	0.077	0.130	9	12	17	56	0.328	1.563	1.509	1.453
		11	2	0.000	0.130	0.077	0.130			18	57	1.000	1.517	1.461	1.415
		12	3	0.000	0.123	0.077	0.130			19	58	0.701	1.482	1.417	1.378
		13	4	0.037	0.123	0.077	0.130			20	59	0.072	1.437	1.378	1.342
		14	5	0.453	0.123	0.077	0.130			21	60	0.328	1.370	1.353	1.306
		15	6	0.000	0.123	0.076	0.129			22	61	0.365	1.337	1.327	1.272
		16	7	1.374	0.123	0.076	0.128			23	62	0.190	1.283	1.292	1.240
		17	8	5.312	0.123	0.076	0.129			24	63	0.701	1.252	1.258	1.209
		18	9	2.619	0.137	0.078	0.131	9	13	1	64	0.000	1.210	1.228	1.179
		19	10	0.853	0.152	0.082	0.135			2	65	0.000	1.179	1.182	1.151
		20	11	1.773	0.168	0.087	0.142			3	66	0.000	1.129	1.140	1.124
		21	12	1.443	0.180	0.095	0.152			4	67	0.328	1.099	1.110	1.099
		22	13	1.853	0.196	0.104	0.167			5	68	0.000	1.069	1.076	1.075
		23	14	5.142	0.212	0.117	0.187			6	69	0.328	1.060	1.046	1.053
		24	15	6.729	0.236	0.136	0.216			7	70	0.000	1.033	1.028	1.033
9	11	1	16	4.608	0.292	0.172	0.256			8	71	0.000	1.021	1.009	1.013
		2	17	3.929	0.320	0.251	0.310			9	72	0.000	0.998	0.997	0.995
		3	18	4.181	0.371	0.396	0.383			10	73	0.037	0.987	0.989	0.978
		4	19	3.853	0.470	0.577	0.476			11	74	0.000	0.969	0.974	0.962
		5	20	5.256	0.591	0.756	0.587			12	75	0.000	0.953	0.961	0.948
		6	21	4.819	0.786	0.901	0.713			13	76	0.000	0.930	0.949	0.934
		7	22	6.112	0.921	1.012	0.849			14	77	0.000	0.914	0.934	0.921
		8	23	6.336	1.019	1.106	0.996			15	78	0.000	0.903	0.917	0.909
		9	24	5.366	1.132	1.197	1.152			16	79	0.000	0.892	0.896	0.897
		10	25	4.563	1.272	1.303	1.315			17	80	0.000	0.881	0.877	0.886
		11	26	4.701	1.387	1.437	1.479			18	81	0.000	0.870	0.858	0.876
		12	27	5.227	1.541	1.591	1.640			19	82	0.000	0.854	0.838	0.866
		13	28	7.147	1.727	1.747	1.792			20	83	0.000	0.843	0.823	0.856
		14	29	6.865	1.911	1.877	1.940			21	84	0.000	0.822	0.816	0.847
		15	30	7.921	2.065	1.994	2.086			22	85	0.000	0.817	0.802	0.839
		16	31	2.328	2.224	2.123	2.234			23	86	0.000	0.807	0.785	0.830
		17	32	2.065	2.475	2.272	2.370			24	87	0.000	0.797	0.778	0.822
		18	33	1.635	2.620	2.438	2.478	9	14	1	88	0.000	0.786	0.770	0.814
		19	34	2.555	2.709	2.570	2.547			2	89	0.000	0.776	0.760	0.806
		20	35	3.517	2.584	2.649	2.580			3	90	0.000	0.771	0.754	0.799
		21	36	3.374	2.584	2.678	2.585			4	91	0.000	0.761	0.744	0.791
		22	37	3.123	2.569	2.651	2.570			5	92	0.000	0.743	0.731	0.784
		23	38	2.891	2.480	2.601	2.541			6	93	0.000	0.724	0.722	0.776
		24	39	2.856	2.392	2.530	2.500			7	94	0.000	0.686	0.708	0.769
9	12	1	40	1.747	2.377	2.442	2.449			8	95	0.000	0.668	0.692	0.762
		2	41	1.928	2.363	2.358	2.390			9	96	0.000	0.632	0.681	0.755
		3	42	1.701	2.220	2.275	2.324			10	97	0.000	0.614	0.672	0.748
		4	43	1.328	2.151	2.197	2.252			11	98	0.000	0.597	0.662	0.741
		5	44	1.037	2.096	2.129	2.173			12	99	0.000	0.580	0.648	0.734
		6	45	1.652	2.002	2.051	2.090			13	100	0.000	0.563	0.632	0.727
		7	46	2.072	1.949	1.973	2.007			14	101	0.000	0.530	0.621	0.719
		8	47	2.619	1.858	1.908	1.927			15	102	0.000	0.513	0.614	0.712
		9	48	2.510	1.845	1.851	1.854			16	103	0.000	0.498	0.603	0.705
		10	49	2.256	1.795	1.793	1.788			17	104	0.000	0.466	0.592	0.698
		11	50	1.299	1.782	1.738	1.730			18	105	0.000	0.466	0.581	0.691
		12	51	1.174	1.770	1.686	1.675			19	106	0.000	0.451	0.574	0.684
		13	52	1.328	1.720	1.648	1.625			20	107	0.000	0.436	0.569	0.677
		14	53	1.328	1.671	1.616	1.578			21	108	0.000	0.422	0.561	0.670
		15	54	1.328	1.659	1.585	1.534			22	109	0.000	0.407	0.553	0.663
		16	55	0.928	1.611	1.553	1.493			23	110	0.000	0.393	0.545	0.656

第 15 回　流出解析ゼミ

― 目的関数の差異による洪水流量推定精度に及ぼす影響 ―

[問題]

湧別川・丸瀬布地点における平成 13 年 9 月 11 日の洪水資料を用いて、次に掲げる 3 種類の貯留関数法について、**単一流域モデル**と**複合流域モデル**のそれぞれに関して、モデル定数の最適化を行え。ただし、モデル定数の同定にあたっては、式(15.1)に示される *MSE*（mean squares error）と式(15.2)に示される *KAI2*（カイ 2 乗基準）の 2 つの目的関数を採用して、ハイドログラフ及び精度評価指標を比較せよ。

(i)　有効雨量を用いた貯留関数法のパラメータ f_c

(ii)　損失項を含む貯留関数法のパラメータ c_{11}, c_{12} 及び c_{13} の同定

(iii)　地下水流出を含む貯留関数法のパラメータ c_{11}, c_{12} 及び c_{13} の同定

なお、流量・雨量・流域諸元・河道諸元は、単一流域解析では**「第 3 回ゼミ」**を、複合流域解析では**「第 14 回ゼミ」**を参照せよ。

モデル定数の最適値探索にあたっては、一階ニュートン法を用いよ。モデル定数の初期値は、$f_c = 3.0$, $c_{11} = 10.0$, $c_{12} = 0.15$ 及び $c_{13} = 1.5$ とせよ。(ii)の場合は減衰係数 $\lambda = 0.014$（湧別川水系における既往 32 洪水例の平均値）とし、(iii)の場合は分離時定数 $T_c = 75.8$（湧別川水系における既往 32 洪水例の平均値）及び $\delta = 2.1$ とせよ。いずれの場合も、計算時間間隔は $T = 1/10$ とせよ。

また、精度評価指標は**「第 5 回ゼミ」**の**「9. モデル定数最適化の目的関数と精度評価指標」**に示される 8 種について計算せよ。ただし、実測値が 0.04（mm/h）以下の流出高を計算対象から除くものとする。

[解答]

湧別川・丸瀬布地点での**単一流域**及び**複合流域**解析において、3 種の貯留関数型流出モデルについて、*KAI2* と *MSE* の目的関数の相違によるモデル定数及び精度評価指標を比較して、**表－8** に整理した。

有効雨量を用いた貯留関数法の単一流域及び複合流域解析については、**図－12(1)** 及び**図－12(2)** に示されるように、*KAI2* と *MSE* の目的関数の違いにより、ハイドログラフのピーク部で差異が認められる。*MSE* の場合、直接流出高のピーク値はほぼ同じであるが、*KAI2* の場合は幾分大きめに算出されている。ピーク相対誤差（J_{pe}）は *MSE* の方が小さく、再現精度が良いことが明らかであるが、他の精度評価指標に顕著な差異は見られない。モデル定数 f_c の最適値についても大きな差異はない。なお、有効雨量を用いた貯留関数法における単一流域解析と複合流域解析での収束回数が大きく異なるのは、モデル定数の初期値が複合流域の最適値に近かったためと考えられる。

損失項を含む貯留関数法の単一流域及び複合流域解析結果は、**図－12(3)** 及び**図－12(4)** に示される。目的関数の評価基準が *KAI2* と *MSE* の場合で、ハイドログラフのピーク部において差異が認められる。*MSE* の方が *KAI2* に比べて、やや大きい値となっているが、計算ピーク流出高は実測のそれに比べて、過小算定されている。ピーク相対誤差（J_{pe}）は *MSE* の方が小さい。一方、*KAI2* の方が減衰部において実測値に近いため、ハイドログラフの相対誤差（J_{re}）は *KAI2* の方が小さい。*KAI2* と *MSE* の相違によ

るモデル定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}の最適値については大きな差異はない。

本論中でも述べたように、単一流域・複合流域モデルでc_{11}の値に大きな差異が見られる。すなわち、複合流域モデルにおいては、河道の遅れ効果のためにc_{11}の値が大きくなる。

地下水流出を含む貯留関数法の単一流域解析については、**図－12(5)**に示されるように、*KAI2* と *MSE* の目的関数の違いにより、ハイドログラフのピーク部分で差異が見られる。*KAI2* の方が *MSE* に比べて過大算出されているが、*KAI2* では実測値より計算値が大きく、*MSE* では実測値よりも計算値が小さい。また、複合流域解析については、**図－12(6)**に示されるように *KAI2* と *MSE* でほとんど差異が認められない。他の精度評価指標を比較しても、単一流域・複合流域解析ともに *KAI2* と *MSE* で顕著な差異が認められない。モデル定数c_{11}，c_{12}及びc_{13}の最適値についても大きな差異はない。この流出モデルにおいても、複合流域解析による定数c_{11}の値は、単一流域モデルに比べて大きく算出される。

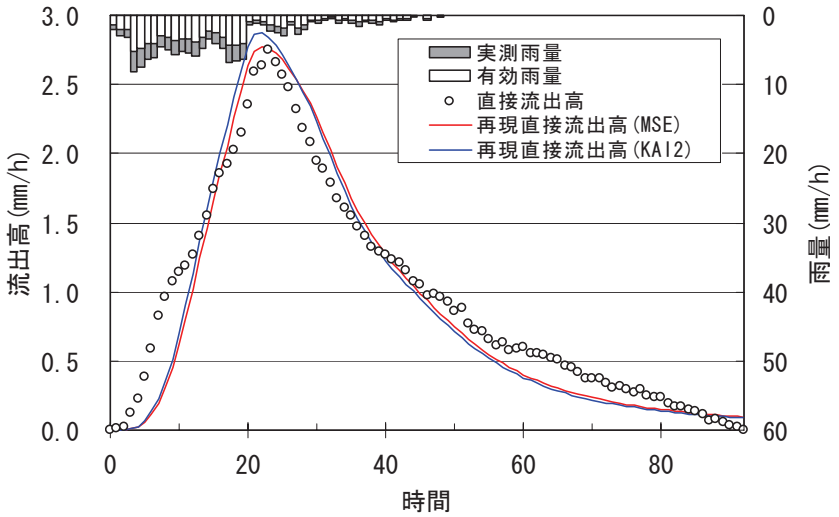
以上、湧別川・丸瀬布地点での解析結果を総合的に判断すると、「有効雨量を用いた貯留関数法」と「地下水流出を含む貯留関数法」によるハイドログラフの再現精度が高いことが分かる。とくに、1個の未知定数を有する「有効雨量を用いた貯留関数法」の単一流域解析は最適化手法が簡単であり、複雑な流出モデルによる再現結果と遜色がない点で、実用性が高いと考えられる。

文責　　星　　清
宮武　真由子

表－8　目的関数 *KAI2* と *MSE* の相違による単一流域・複合流域解析における3種類の貯留関数法の最適化比較　　湧別川・丸瀬布　(H13.9.11)

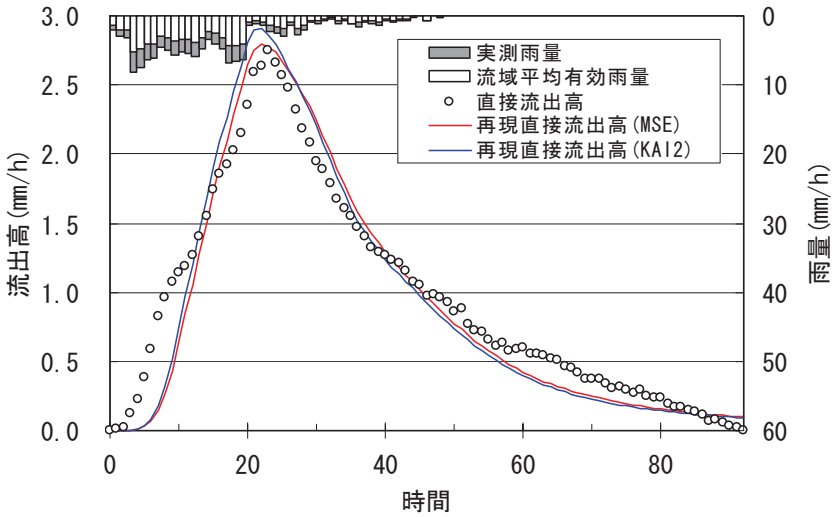
	有効雨量を用いた貯留関数法				損失項を含む貯留関数法				地下水流出を含む貯留関数法			
最適化手法	一階ニュートン法				一階ニュートン法				一階ニュートン法			
流域	単一流域		複合流域		単一流域		複合流域		単一流域		複合流域	
目的関数 評価基準	*KAI2*	*MSE*	*KAI2*	*MSE*	*KAI2*	*MSE*	*KAI2*	*MSE*	*KAI2*	*MSE*	*KAI2*	*MSE*
収束回数	19	19	6	6	6	6	7	7	15	10	10	9
k_{11}	23.973	25.001	33.890	35.698	61.192	56.623	87.159	81.495	37.629	40.750	55.836	57.932
k_{12}	139.372	151.588	279.088	309.667	129.029	120.299	221.051	233.939	291.664	307.718	654.137	678.457
f_c	1.706	1.779	2.412	2.541	—	—	—	—	—	—	—	—
c_{11}	—	—	—	—	12.294	11.376	17.511	16.373	7.560	8.187	11.218	11.639
c_{12}	—	—	—	—	0.045	0.049	0.038	0.046	0.269	0.242	0.274	0.264
c_{13}	—	—	—	—	1.134	1.171	1.165	1.202	1.882	1.970	2.042	2.017
RMSE (mm/h)	0.206	0.200	0.208	0.200	0.144	0.129	0.153	0.141	0.147	0.127	0.124	0.120
KAI2 (mm/h)	0.074	0.076	0.076	0.079	0.016	0.020	0.018	0.020	0.028	0.031	0.019	0.019
J_{pe}	0.046	0.009	0.058	0.017	0.197	0.142	0.175	0.130	0.031	0.049	0.045	0.058
J_{re}	0.266	0.254	0.258	0.242	0.142	0.185	0.144	0.167	0.192	0.200	0.128	0.128
E_w	0.118	0.117	0.118	0.117	0.059	0.086	0.049	0.060	0.067	0.082	0.033	0.035
E	0.006	0.005	0.006	0.005	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002
E_v	0.054	0.059	0.043	0.049	0.017	0.025	0.015	0.020	−0.100	−0.064	−0.016	−0.021
E_p	−0.046	−0.009	−0.058	−0.017	0.197	0.142	0.175	0.130	−0.031	0.049	0.045	0.058
初期値	f_c=3.0				c_{11}=10.0, c_{12}=0.15, c_{13}=1.5				c_{11}=10.0, c_{12}=0.15, c_{13}=1.5			
総流出高 [実績] (mm)	88.365				115.448				115.448			
総流出高 [再現] (mm)	83.560	83.125	84.558	84.056	114.504	114.451	113.702	113.191	124.071	118.932	117.287	117.885
ピーク流量 [実績] (m^3/s)	611.681				645.810				645.810			
ピーク流量 [再現] (m^3/s)	639.951	617.429	647.237	622.175	518.795	554.176	532.785	561.548	665.870	614.156	616.574	608.056

※「有効雨量を用いた貯留関数法」では直接流出高を使用



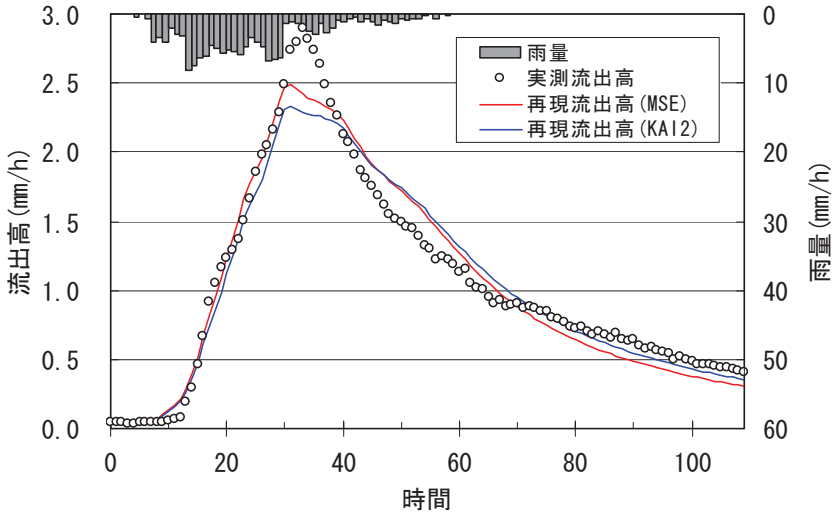
図－12(1)　有効雨量を用いた貯留関数法による単一流域解析の比較

[湧別川・丸瀬布　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 20 時～14 日 16 時　93 時間]



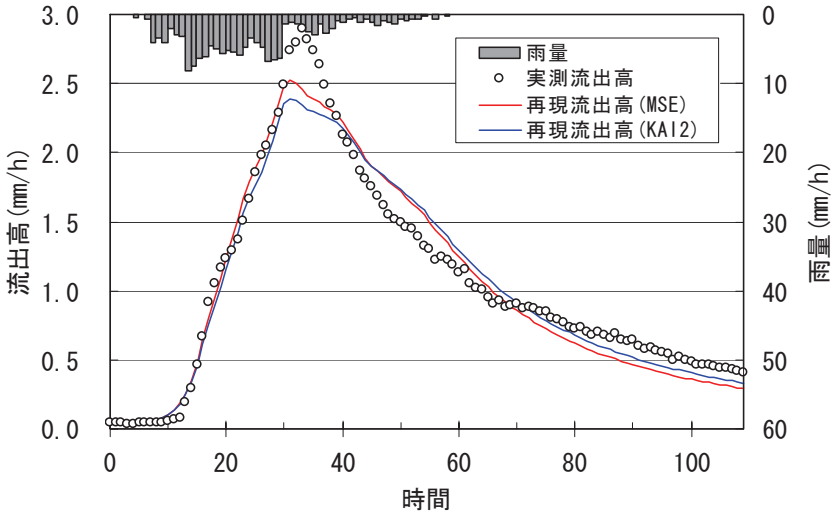
図－12(2)　有効雨量を用いた貯留関数法による複合流域解析の比較

[湧別川・丸瀬布　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 20 時～14 日 16 時　93 時間]

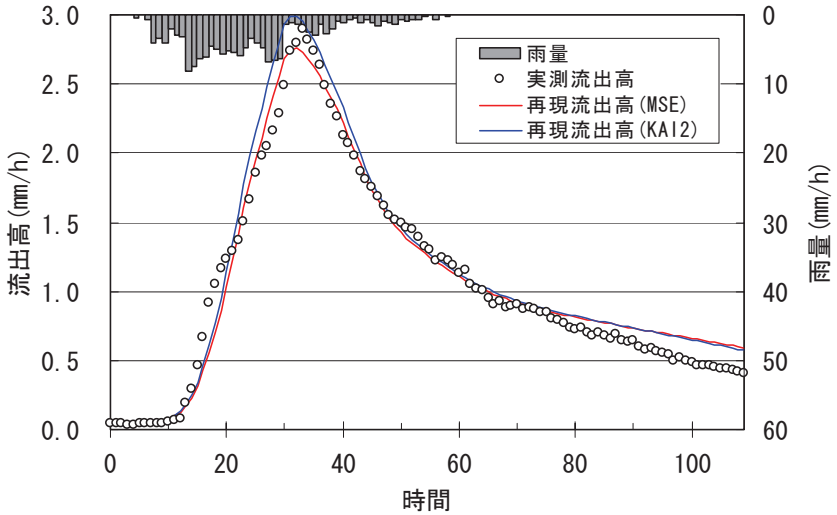


図－12(3)　損失項を含む貯留関数法による単一流域解析の比較

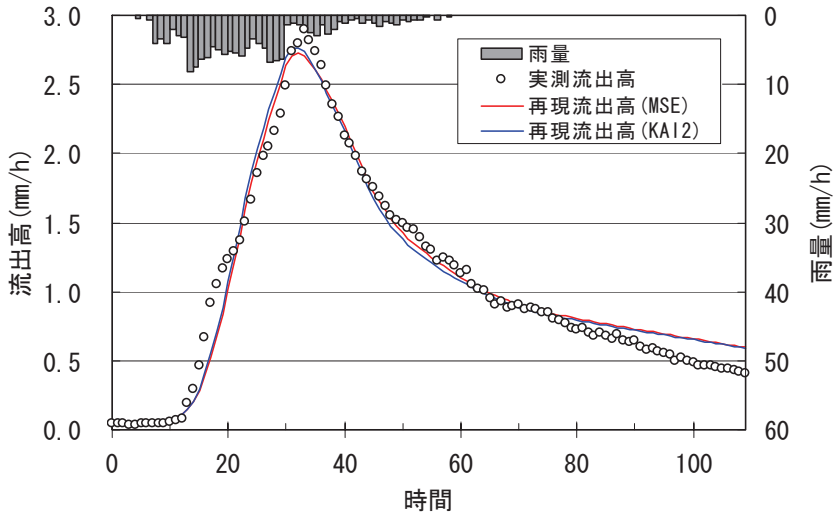
[湧別川・丸瀬布　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]



図－12(4)　損失項を含む貯留関数法による複合流域解析の比較
[湧別川・丸瀬布　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]



図－12(5)　地下水流出を含む貯留関数法による単一流域解析の比較
[湧別川・丸瀬布　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]



図－12(6)　地下水流出を含む貯留関数法による複合流域解析の比較
[湧別川・丸瀬布　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

第 16 回　流出解析ゼミ

― 短時間予測雨量の誤差分散算定法 ―

[問題]

丸瀬布の実測雨量(平成 13 年 9 月 10 日 20 時～9 月 11 日 24 時；29 時間)を用いて、過去 3 時間移動平均雨量を求めよ。

次に、右表に示す移動平均予測雨量法による「北海道全域」の補正式から予測雨量値及び誤差分散の平方根を算定せよ。

ただし、リードタイムは 1, 2, 3 時間とし、丸瀬布の雨量データは**「第 3 回ゼミ」**を参照せよ。

ﾘｰﾄﾞﾀｲﾑ	補正式: $\overline{r}_\ell = a_m \hat{r}_\ell^{b_m}$	
ℓ (h)	a_m	b_m
過去3時間移動平均雨量法		
1	1.021	0.851
2	1.252	0.686
3	1.394	0.585

誤差分散式: $S_\ell = a_s \overline{r}_\ell^{b_s} \sqrt{\ell}$	
a_s	b_s
過去3時間移動平均雨量法	
1.135	0.88

[解答]

計算結果を**表－10** に示す。

文責　宮武　真由子

表－10　補正式の予測雨量と誤差分散平方根の算定

		実測雨量	過去3時間移動平均雨量	補正式による予測雨量値 $\overline{r}_\ell = a_m \hat{r}_\ell^{b_m}$			誤差分散の平方根 $S_\ell = a_s \overline{r}_\ell^{b_s} \sqrt{\ell}$		
日	時	(mm/h)	(mm/h)	1時間先	2時間先	3時間先	1時間先	2時間先	3時間先
9/10	20	2.12							
	21	3.05							
	22	3.09							
	23	8.10	2.75	2.417	2.508	2.521	2.468	3.605	4.436
	24	7.51	4.75	3.843	3.644	3.467	3.711	5.009	5.871
9/11	1	6.38	6.23	4.845	4.393	4.066	4.551	5.904	6.755
	2	6.20	7.33	5.562	4.910	4.470	5.138	6.511	7.343
	3	4.50	6.70	5.150	4.615	4.240	4.802	6.165	7.009
	4	5.09	5.69	4.486	4.128	3.856	4.252	5.590	6.447
	5	5.77	5.26	4.196	3.912	3.683	4.009	5.331	6.192
	6	5.18	5.12	4.098	3.839	3.624	3.927	5.243	6.104
	7	5.38	5.35	4.252	3.954	3.717	4.057	5.382	6.242
	8	5.90	5.44	4.318	4.003	3.756	4.112	5.440	6.300
	9	4.86	5.49	4.347	4.025	3.774	4.136	5.466	6.326
	10	3.43	5.38	4.275	3.971	3.731	4.076	5.402	6.262
	11	4.00	4.73	3.831	3.635	3.460	3.701	4.998	5.860
	12	4.82	4.10	3.390	3.294	3.181	3.323	4.583	5.442
	13	6.89	4.08	3.381	3.287	3.175	3.315	4.574	5.433
	14	6.55	5.24	4.178	3.898	3.672	3.994	5.315	6.176
	15	6.39	6.09	4.748	4.322	4.010	4.470	5.820	6.673
	16	1.36	6.61	5.094	4.574	4.208	4.755	6.117	6.962
	17	1.10	4.77	3.856	3.655	3.476	3.723	5.021	5.884
	18	1.27	2.95	2.564	2.630	2.625	2.599	3.759	4.596
	19	2.16	1.24	1.229	1.454	1.583	1.361	2.231	2.946
	20	2.43	1.51	1.450	1.661	1.774	1.574	2.509	3.256
	21	3.00	1.95	1.805	1.982	2.062	1.909	2.930	3.717
	22	1.36	2.53	2.249	2.367	2.399	2.316	3.426	4.247
	23	2.70	2.26	2.046	2.193	2.248	2.131	3.203	4.010
	24	1.95	2.35	2.115	2.252	2.300	2.194	3.279	4.091

第 17 回　流出解析ゼミ

― 単一流域におけるカルマン・フィルター理論を用いた実時間流出予測 ―

[問題 1]

システム方程式の拡大前(状態変量をx_1及びx_2としたとき)と、拡大後(x_1, x_2に加えて流出率f, モデル定数f_c, 予測雨量rの 5 つとしたとき(式(17.54)を参照))で、計算流出高に差異が生じるかを検討せよ。

解析対象洪水は、湧別川・丸瀬布における平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 20 時～14 日 23 時の 110 時間分(**「第 3 回ゼミ」**を参照)とし、状態変量x_1及びx_2の初期値はそれぞれ$x_1 = q_0^{p_2}$, $x_2 = 0$とせよ。

なお、$f = 0.6404$, $f_c = 1.771$, $\overline{r_e} = 2.7384$ (mm/h), 計算時間分割数$nl = 10$とせよ。

[問題 2]

湧別川・丸瀬布における平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 20 時～14 日 23 時の 110 時間(**「第 3 回ゼミ」**を参照)洪水について、1～3 時間先の流量と水位の予測計算を行い、90%信頼区間とともに図示せよ。また、流出率fとモデル定数f_cの 1 時間毎の更新値を求めよ。計算時間分割数$nl = 10$とし、その他の計算条件は**表－3** に示す。

表－3　計算条件

初期値	流域の状態変量	$x_1 = q_0^{p_2}$	$q_0^{p_2}$:初期流出高
		$x_2 = 0$	
	モデル定数の状態変量	$f = 0.6404$	**「第 3 回ゼミ」**と同じ
		$f_c = 1.779$	**「第 14 回ゼミ」**の最適値
誤差分散	システム誤差定数	$\alpha_1 = 0.1$	$Q = (\alpha_1 X_1)^2$
	観測誤差定数	$\alpha_2 = 0.1$	$R = (\alpha_2 h(X))^2$
	モデル定数誤差定数	$\alpha_2 = 0.1$	$U = (\alpha_3 X_3)^2$
	予測雨量の誤差	$a = 1.135$, $b = 0.88$	
予測雨量	過去 3 時間移動平均雨量法(流域毎)		
水位～流量曲線	$Q = 26.11(H - 173.41)^2$ 適用範囲 $173.42 \le H < 174.76$ $Q = 27.23(H - 173.48)^2$ 適用範囲 $174.76 \le H < 178.35$		**「第 3 回ゼミ」**を参照
平均有効雨量強度	洪水開始時$\overline{r_\ell} < 1.0$のとき、$\overline{r_\ell} = 1.0$ mm/h とする		式(17.50)を参照

[解答 1]

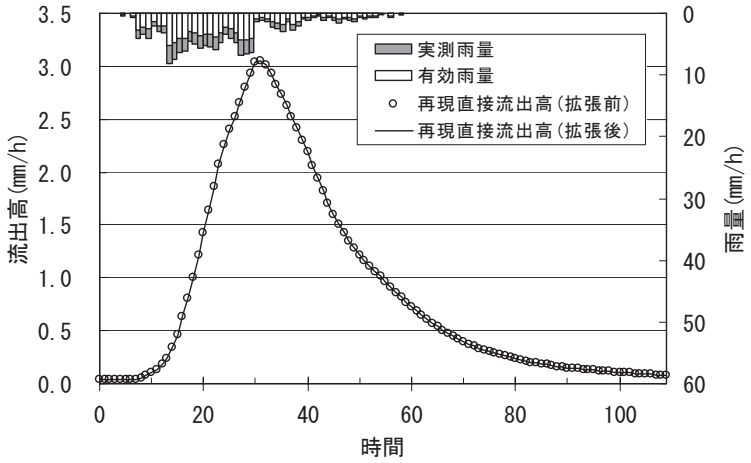
以下に、状態変量をx_1, x_2のみとした場合のシステム方程式の伝達方程式を示す。

$$\begin{cases} x_{1,k+1} = \phi_{11} x_{1,k} + \phi_{12} x_{2,k} + \gamma_{12} d_{2,k} \\ x_{2,k+1} = \phi_{21} x_{1,k} + \phi_{22} x_{2,k} + \gamma_{22} d_{2,k} \end{cases} \tag{17.136}$$

$$\begin{aligned} d_{2,k} &= f_2(x_1^*, x_2^*) - a_{21} x_1^* - a_{22} x_2^* \\ &= \frac{k_1}{k_2}\frac{p_1}{p_2}\left(\frac{p_1}{p_2} - 1\right)\left(x_1^*\right)^{p_1/p_2 - 1}\left(x_2^*\right) + \frac{1}{k_2}\left(\frac{1}{p_2} - 1\right)\left(x_1^*\right)^{1/p_2} + \frac{fr}{k_2} \end{aligned} \tag{17.137}$$

式(17.136)中の係数$\phi_{11}, \phi_{12}, \phi_{21}$及び$\phi_{22}$の値は式(17.73)に示されている。また、$\gamma_{11}$と$\gamma_{22}$の値も式(17.76)で計算される。ただし、$d_{2,k}$の内容は式(17.67)と式(17.137)で異なることを注意する。

図－2 及び**表－4** に示されるように、システム方程式の拡大前・後における同一の計算条件下で求めた計算流出高には差異が見られない。すなわち、状態変量(x_1, x_2)のみを算定するための伝達方程式であれば、式(17.80)に依らずに式(17.136)を用いてもよいことになる。しかしながら、式(17.136)を用いたとき、状態変量の推定値誤差分散・共分散の伝達方程式は、状態変量x_1とx_2のみに関するものとなり、パラメータf, f_c及びrを含む分散・共分散は算定されないことになる。その結果、システム方程式の拡大を図ることが得策であると言える。



図－2　一般化貯留関数法におけるシステム方程式拡大前・後の流出高比較（単一流域解析）
［湧別川・丸瀬布　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 20 時～23 日 16 時　110 時間］

[解答 2]

湧別川・丸瀬布における 1～3 時間先の洪水流量予測結果を**図－3** 及び**表－5** に、水位予測結果を**図－4** 及び**表－6** に示す。また、流出率fとモデル定数f_cの変化を**図－5** 及び**表－7** に示す。予測流量及び予測水位とも、1 時間先予測の精度が 3 時間先に比べ良いことは、**図－3** 及び**図－4** から自明である。

また、**図－5** に示す流出率fとモデル定数f_cの変化をみると、洪水ハイドログラフの立ち上がりからピークまでの期間（～34 時間目）で、値が激しく変動し、fとf_cの動きはおおよそ正反対になっている。はじめに、ハイドログラフが立ち上がるときには、fは小さくなり、f_cは大きくなる。次にハイドログラフの立ち上がりとピークとの中間付近での変曲点で、fは大きくなり、f_cは小さくなっている。時間ごとに入手される実測流量の急激な変化に合うように、カルマン・フィルター理論によって流出率fとモデル定数f_cの最適化されていることが確認できる。

文責　星　　清
宮武　真由子

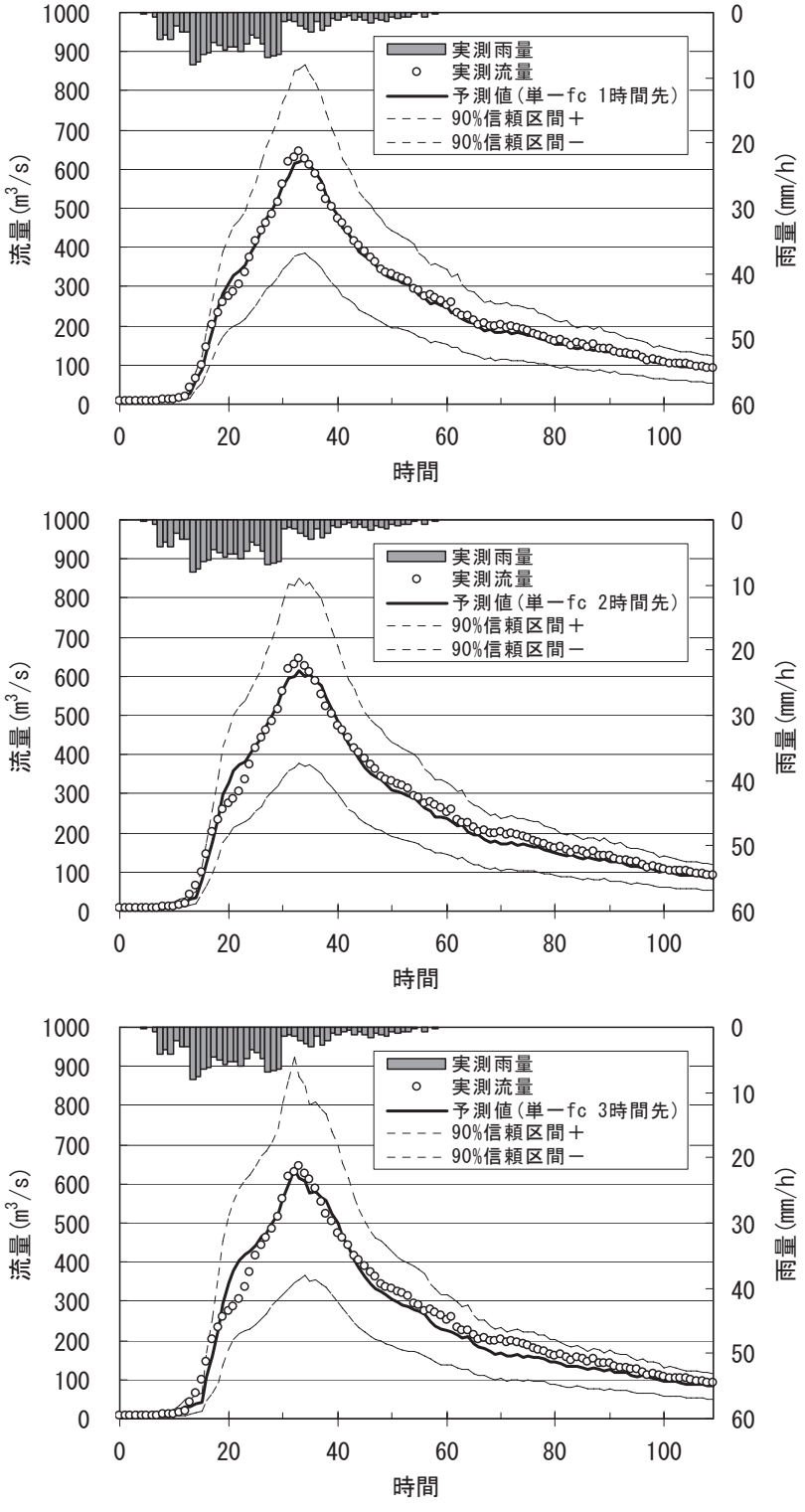
表－4　一般化貯留関数法におけるシステム方程式拡大前・後の流出高比較（単一流域解析）
［湧別川・丸瀬布　　平成 13 年（2001 年）9 月 10 日 20 時～14 日 23 時　110 時間］

流域面積:　802.0 (km^2)　　平均雨量強度:　2.7384 (mm/h)

流出率 f :　0.6404　　モデル定数 f_c :　1.771

単位:(mm/h)

月	日	時	No.	実測流出高	計算流出高—拡張前—(x_1, x_2)	計算流出高—拡張後—(x_1, x_2, f, f_c, r)	月	日	時	No.	直接流出高	計算流出高—拡張前—(x_1, x_2)	計算流出高—拡張後—(x_1, x_2, f, f_c, r)
9	10	10	1	0.041	0.041	0.041	9	12	17	56	1.299	0.960	0.960
		11	2	0.041	0.041	0.041			18	57	1.228	0.910	0.910
		12	3	0.041	0.040	0.040			19	58	1.244	0.863	0.863
		13	4	0.039	0.040	0.040			20	59	1.221	0.816	0.816
		14	5	0.039	0.040	0.040			21	60	1.190	0.771	0.771
		15	6	0.041	0.040	0.040			22	61	1.130	0.727	0.726
		16	7	0.041	0.041	0.041			23	62	1.160	0.685	0.685
		17	8	0.042	0.046	0.046			24	63	1.049	0.645	0.645
		18	9	0.044	0.057	0.057	9	13	1	64	1.014	0.607	0.607
		19	10	0.048	0.077	0.077			2	65	1.007	0.571	0.571
		20	11	0.056	0.104	0.104			3	66	0.952	0.537	0.537
		21	12	0.073	0.137	0.137			4	67	0.911	0.505	0.505
		22	13	0.085	0.180	0.180			5	68	0.931	0.475	0.475
		23	14	0.195	0.242	0.242			6	69	0.885	0.448	0.448
		24	15	0.300	0.339	0.339			7	70	0.898	0.422	0.422
9	11	1	16	0.460	0.469	0.468			8	71	0.911	0.398	0.398
		2	17	0.670	0.629	0.629			9	72	0.871	0.376	0.376
		3	18	0.912	0.810	0.810			10	73	0.885	0.355	0.355
		4	19	1.048	1.004	1.003			11	74	0.871	0.336	0.336
		5	20	1.163	1.211	1.210			12	75	0.852	0.318	0.318
		6	21	1.238	1.426	1.425			13	76	0.846	0.301	0.301
		7	22	1.292	1.642	1.642			14	77	0.801	0.286	0.286
		8	23	1.371	1.860	1.859			15	78	0.795	0.272	0.272
		9	24	1.511	2.070	2.069			16	79	0.770	0.258	0.258
		10	25	1.666	2.252	2.251			17	80	0.734	0.246	0.246
		11	26	1.857	2.400	2.399			18	81	0.728	0.234	0.234
		12	27	1.980	2.527	2.526			19	82	0.740	0.223	0.223
		13	28	2.048	2.655	2.654			20	83	0.704	0.213	0.213
		14	29	2.157	2.795	2.793			21	84	0.675	0.204	0.204
		15	30	2.290	2.937	2.936			22	85	0.698	0.195	0.195
		16	31	2.491	3.034	3.032			23	86	0.681	0.187	0.187
		17	32	2.734	3.051	3.050			24	87	0.652	0.179	0.179
		18	33	2.791	3.006	3.005	9	14	1	88	0.687	0.171	0.171
		19	34	2.899	2.926	2.925			2	89	0.641	0.164	0.164
		20	35	2.816	2.830	2.829			3	90	0.635	0.158	0.158
		21	36	2.735	2.732	2.731			4	91	0.641	0.152	0.152
		22	37	2.643	2.627	2.626			5	92	0.602	0.146	0.146
		23	38	2.486	2.519	2.518			6	93	0.581	0.141	0.140
		24	39	2.356	2.414	2.413			7	94	0.586	0.135	0.135
9	12	1	40	2.260	2.303	2.303			8	95	0.565	0.130	0.130
		2	41	2.125	2.186	2.185			9	96	0.560	0.126	0.126
		3	42	2.075	2.065	2.064			10	97	0.539	0.121	0.121
		4	43	1.985	1.939	1.938			11	98	0.499	0.117	0.117
		5	44	1.869	1.817	1.816			12	99	0.519	0.113	0.113
		6	45	1.812	1.701	1.701			13	100	0.499	0.109	0.109
		7	46	1.756	1.595	1.595			14	101	0.484	0.106	0.106
		8	47	1.682	1.502	1.502			15	102	0.470	0.102	0.102
		9	48	1.620	1.420	1.420			16	103	0.460	0.099	0.099
		10	49	1.549	1.346	1.346			17	104	0.460	0.096	0.096
		11	50	1.515	1.281	1.281			18	105	0.455	0.093	0.093
		12	51	1.497	1.221	1.221			19	106	0.441	0.090	0.090
		13	52	1.463	1.165	1.165			20	107	0.437	0.088	0.088
		14	53	1.446	1.113	1.112			21	108	0.427	0.085	0.085
		15	54	1.396	1.062	1.062			22	109	0.418	0.082	0.082
		16	55	1.323	1.012	1.012			23	110	0.405	0.080	0.080



図－3　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測流量
(上から 1 時間先、2 時間先、3 時間先予測結果)
(単一流域解析　　過去 3 時間移動平均雨量法)
[湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

表－5(1)　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測流量
（単一流域解析：1～3 時間先予測 ･･･ 過去 3 時間移動平均雨量法）
［湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間］

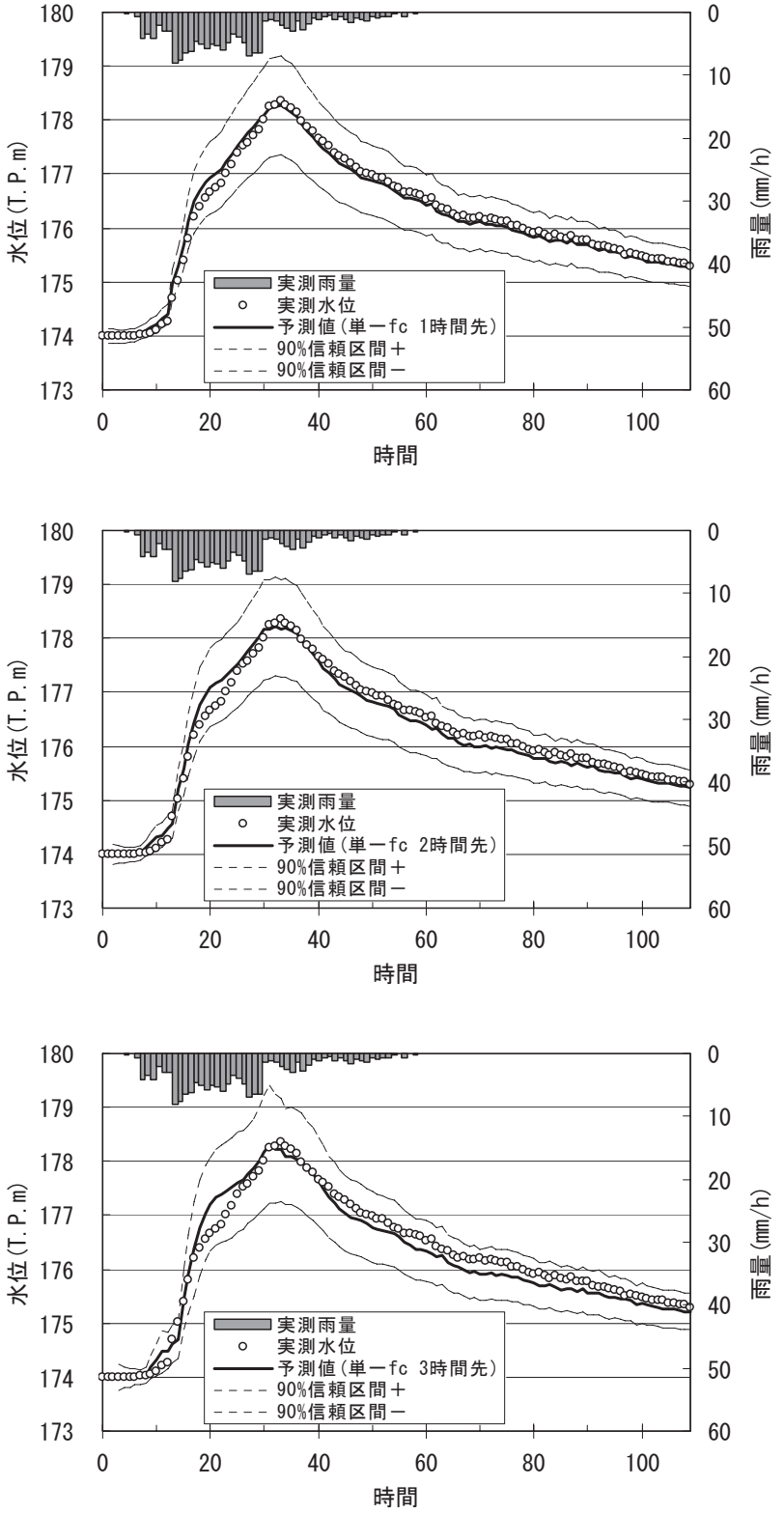
単位:(m^3/s)

月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流量	1時間先 予測流量	2時間先 予測流量	3時間先 予測流量	1時間先90% 信頼区間	2時間先90% 信頼区間	3時間先90% 信頼区間
9	10	10	1	0.00	9.09						
		11	2	0.00	9.09	9.08			5.46		
		12	3	0.00	9.09	9.06	9.05		4.32	7.29	
		13	4	0.10	8.78	9.05	9.02	9.01	4.02	5.72	9.24
		14	5	0.34	8.78	8.76	9.00	8.97	3.72	4.91	7.18
		15	6	0.00	9.09	8.82	8.70	8.94	3.63	4.31	5.90
		16	7	0.65	9.09	9.09	8.88	8.63	3.66	4.09	4.99
		17	8	4.07	9.40	9.32	9.15	8.95	3.71	4.00	4.65
		18	9	3.45	9.72	11.06	9.61	9.23	4.39	4.07	4.43
		19	10	4.05	10.70	12.67	13.09	9.94	5.12	5.79	4.59
		20	11	2.12	12.43	15.17	16.36	15.61	6.24	7.89	8.54
		21	12	1.00	16.30	17.23	21.05	21.24	6.99	10.92	13.91
		22	13	3.09	18.86	22.01	23.09	29.08	8.81	11.09	21.34
		23	14	8.10	43.45	25.85	29.14	30.62	10.33	13.40	19.52
		24	15	7.51	63.74	59.53	33.68	37.93	23.04	15.00	22.29
9	11	1	16	6.38	99.34	88.66	80.14	42.95	35.02	35.80	23.36
		2	17	6.20	146.56	133.24	120.54	104.87	52.22	55.43	60.58
		3	18	4.50	201.46	188.42	177.00	158.90	73.15	80.32	95.83
		4	19	5.09	232.17	246.06	238.80	228.91	94.89	102.84	136.44
		5	20	5.77	258.32	281.07	295.93	294.76	108.80	121.96	158.36
		6	21	5.18	275.36	309.37	329.08	347.70	119.81	133.98	169.05
		7	22	5.38	287.62	326.69	356.70	377.26	126.67	144.26	176.37
		8	23	5.90	305.59	338.23	372.65	403.22	131.17	150.81	184.91
		9	24	4.86	337.39	355.00	382.68	418.20	137.44	154.74	192.42
		10	25	3.43	372.78	381.71	399.18	426.93	147.26	160.89	196.30
		11	26	4.00	416.30	409.11	423.24	442.94	157.43	169.31	202.53
		12	27	4.82	444.44	446.25	442.93	463.91	171.26	175.07	208.88
		13	28	6.89	459.97	474.46	473.99	474.78	182.30	185.34	206.39
		14	29	6.55	484.92	497.83	500.19	498.29	191.68	195.45	209.53
		15	30	6.39	515.26	525.17	530.89	522.21	202.19	209.60	218.57
		16	31	1.36	561.25	556.19	562.90	561.83	214.06	223.65	244.05
		17	32	1.10	616.97	580.28	596.24	599.77	222.73	237.60	267.15
		18	33	1.27	630.00	615.39	599.00	636.08	235.66	234.19	286.81
		19	34	2.16	645.81	618.06	614.17	615.35	237.51	236.92	259.61
		20	35	2.43	627.38	627.25	600.67	608.65	241.00	231.31	243.05
		21	36	3.00	609.21	610.34	606.45	577.86	235.22	233.69	224.53
		22	37	1.36	588.78	593.01	589.65	581.84	228.61	228.24	226.93
		23	38	2.70	553.86	567.67	575.13	567.03	219.00	223.17	223.53
		24	39	1.95	524.78	536.29	546.09	556.83	207.18	212.02	222.25
9	12	1	40	1.00	503.48	505.85	516.94	524.96	195.41	201.10	208.99
		2	41	1.16	473.50	480.77	485.66	498.48	185.62	188.76	199.38
		3	42	0.65	462.21	450.61	459.22	466.30	174.17	178.45	185.42
		4	43	0.36	442.24	434.66	427.62	439.14	167.67	166.18	174.48
		5	44	1.10	416.30	414.01	409.56	405.82	159.88	158.77	160.09
		6	45	0.65	403.62	390.68	387.94	385.51	151.02	150.61	150.96
		7	46	1.19	391.13	376.78	366.33	363.17	145.42	142.38	142.23
		8	47	1.55	374.80	366.28	353.07	343.28	141.30	137.03	134.59
		9	48	0.95	360.79	353.44	345.00	330.79	136.41	133.88	129.56
		10	49	1.16	345.10	340.49	334.76	325.35	131.41	129.96	127.80
		11	50	1.36	337.39	326.67	323.07	317.60	126.11	125.46	125.05
		12	51	0.68	333.57	319.62	310.58	307.30	123.21	120.62	121.26
		13	52	1.00	325.99	315.05	304.65	296.02	121.35	118.08	116.82
		14	53	0.71	322.23	308.63	299.83	290.91	118.94	116.09	114.42
		15	54	0.65	311.09	304.28	293.93	285.80	117.20	113.83	112.13
		16	55	0.16	294.74	294.33	289.06	280.28	113.53	111.82	109.89

表－5(2)　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測流量
（単一流域解析：1～3 時間先予測 ･･･ 過去 3 時間移動平均雨量法）
［湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間］

単位:(m^3/s)

月	日	時	No.	実測雨量	実測流量	1時間先予測流量	2時間先予測流量	3時間先予測流量	1時間先90%信頼区間	2時間先90%信頼区間	3時間先90%信頼区間
9	12	17	56	0.00	289.39	278.23	279.44	274.66	107.50	108.27	107.23
		18	57	0.71	273.63	270.56	262.60	265.45	104.34	101.92	103.81
		19	58	0.00	277.10	257.37	254.02	247.81	99.44	98.44	96.84
		20	59	0.20	271.91	257.85	242.10	238.26	99.25	93.99	92.85
		21	60	0.00	265.07	253.56	242.00	227.55	97.73	93.61	88.85
		22	61	0.10	251.65	246.71	238.04	226.92	95.17	92.23	88.28
		23	62	0.07	258.32	234.75	230.63	223.41	90.72	89.46	87.10
		24	63	0.00	233.77	238.83	219.34	215.30	91.86	85.27	84.01
9	13	1	64	0.00	225.86	218.95	223.13	204.77	84.86	86.32	80.10
		2	65	0.00	224.29	209.70	204.17	208.21	81.03	79.65	81.05
		3	66	0.00	211.96	207.37	195.39	190.29	79.94	76.01	74.76
		4	67	0.00	202.94	197.00	193.26	181.97	76.17	75.01	71.31
		5	68	0.00	207.43	188.40	183.54	179.98	72.82	71.47	70.38
		6	69	0.00	197.04	191.37	175.55	170.93	73.64	68.34	67.07
		7	70	0.00	199.98	183.22	178.58	163.53	70.80	69.18	64.16
		8	71	0.00	202.94	184.90	170.98	166.57	71.18	66.53	65.01
		9	72	0.00	194.12	187.75	172.76	159.51	72.24	66.95	62.54
		10	73	0.00	197.04	180.84	175.62	161.34	69.84	68.00	62.97
		11	74	0.00	194.12	182.58	169.13	164.16	70.28	65.74	64.00
		12	75	0.00	189.78	180.44	170.92	158.09	69.55	66.20	61.89
		13	76	0.00	188.35	176.66	168.96	159.89	68.14	65.53	62.35
		14	77	0.00	178.46	175.11	165.45	158.11	67.49	64.22	61.74
		15	78	0.00	177.06	166.81	164.08	154.87	64.48	63.62	60.51
		16	79	0.00	171.55	164.72	156.25	153.65	63.51	60.78	59.97
		17	80	0.00	163.45	160.01	154.39	146.31	61.76	59.89	57.30
		18	81	0.00	162.12	152.83	150.01	144.65	59.07	58.26	56.50
		19	82	0.00	164.79	150.97	143.29	140.60	58.20	55.73	54.98
		20	83	0.00	156.85	153.16	141.66	134.32	58.93	54.95	52.61
		21	84	0.00	150.38	146.92	143.90	132.90	56.75	55.69	51.91
		22	85	0.00	155.54	140.87	138.02	135.14	54.43	53.64	52.64
		23	86	0.00	151.66	144.62	132.36	129.64	55.60	51.45	50.72
		24	87	0.00	145.30	141.89	136.09	124.35	54.72	52.62	48.66
9	14	1	88	0.00	152.95	136.37	133.57	128.01	52.67	51.80	49.80
		2	89	0.00	142.80	142.29	128.36	125.68	54.64	49.87	49.05
		3	90	0.00	141.55	134.56	134.15	120.81	52.03	51.78	47.23
		4	91	0.00	142.80	132.58	126.80	126.41	51.12	49.30	49.08
		5	92	0.00	134.20	133.49	124.99	119.45	51.38	48.46	46.73
		6	93	0.00	129.41	126.53	125.95	117.80	48.92	48.74	45.94
		7	94	0.00	130.60	121.71	119.34	118.78	47.01	46.39	46.23
		8	95	0.00	125.87	122.20	114.81	112.54	47.05	44.59	44.02
		9	96	0.00	124.70	118.41	115.39	108.29	45.70	44.67	42.32
		10	97	0.00	120.08	117.05	111.83	108.93	45.11	43.40	42.42
		11	98	0.00	111.11	113.12	110.61	105.61	43.67	42.86	41.23
		12	99	0.00	115.55	105.28	106.92	104.52	40.76	41.50	40.74
		13	100	0.00	111.11	108.09	99.48	101.05	41.55	38.73	39.45
		14	101	0.00	107.83	104.78	102.29	94.01	40.44	39.53	36.83
		15	102	0.00	104.61	101.71	99.19	96.80	39.26	38.48	37.62
		16	103	0.00	102.48	98.71	96.32	93.90	38.10	37.37	36.64
		17	104	0.00	102.48	96.64	93.52	91.22	37.27	36.28	35.59
		18	105	0.00	101.43	96.47	91.61	88.60	37.15	35.51	34.57
		19	106	0.00	98.30	95.64	91.53	86.84	36.85	35.42	33.86
		20	107	0.00	97.27	92.99	90.80	86.83	35.88	35.15	33.79
		21	108	0.00	95.22	91.85	88.31	86.19	35.40	34.24	33.55
		22	109	0.00	93.20	90.06	87.27	83.85	34.73	33.79	32.69
		23	110	0.00	90.20	88.20	85.60	82.91	34.01	33.16	32.28



図－4　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測水位
(上から 1 時間先、2 時間先、3 時間先予測結果)
(単一流域解析　　過去 3 時間移動平均雨量法)
[湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

表－6(1)　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測水位
（単一流域解析：1～3 時間先予測 ･･･ 過去 3 時間移動平均雨量法）
［湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間］

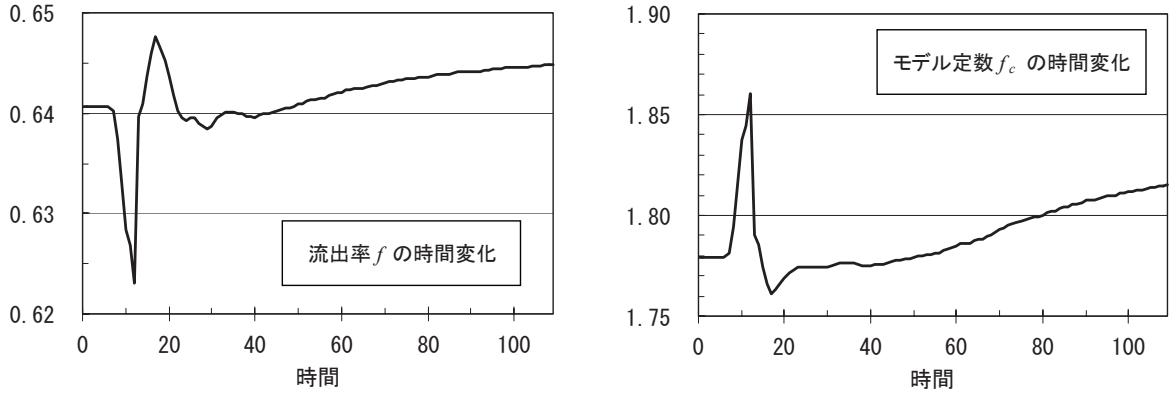
単位:(T.P.m)

月	日	時	No.	実測雨量	実測水位	1時間先予測水位	2時間先予測水位	3時間先予測水位	1時間先90%信頼区間	2時間先90%信頼区間	3時間先90%信頼区間
9	10	10	1	0.00	174.00						
		11	2	0.00	174.00	174.00			0.14		
		12	3	0.00	174.00	174.00	174.00		0.13	0.19	
		13	4	0.10	173.99	173.99	174.00	174.00	0.12	0.16	0.23
		14	5	0.34	173.99	173.99	173.99	174.00	0.12	0.14	0.19
		15	6	0.00	174.00	174.00	173.99	173.98	0.12	0.13	0.17
		16	7	0.65	174.00	174.01	174.00	174.00	0.12	0.13	0.15
		17	8	4.07	174.01	174.06	174.02	174.00	0.13	0.13	0.14
		18	9	3.45	174.02	174.11	174.12	174.03	0.14	0.16	0.14
		19	10	4.05	174.05	174.17	174.20	174.18	0.16	0.19	0.21
		20	11	2.12	174.10	174.22	174.31	174.31	0.16	0.23	0.30
		21	12	1.00	174.20	174.33	174.35	174.47	0.18	0.23	0.39
		22	13	3.09	174.26	174.40	174.47	174.49	0.20	0.24	0.35
		23	14	8.10	174.70	174.96	174.55	174.62	0.29	0.25	0.35
		24	15	7.51	175.01	175.28	175.20	174.69	0.36	0.38	0.35
9	11	1	16	6.38	175.39	175.69	175.58	175.44	0.43	0.48	0.57
		2	17	6.20	175.80	176.11	176.03	175.90	0.51	0.58	0.73
		3	18	4.50	176.20	176.49	176.44	176.38	0.58	0.64	0.86
		4	19	5.09	176.40	176.69	176.78	176.77	0.62	0.68	0.88
		5	20	5.77	176.56	176.85	176.96	177.05	0.65	0.71	0.87
		6	21	5.18	176.66	176.94	177.10	177.20	0.67	0.73	0.87
		7	22	5.38	176.73	177.00	177.18	177.33	0.68	0.75	0.88
		8	23	5.90	176.83	177.09	177.23	177.40	0.70	0.76	0.90
		9	24	4.86	177.00	177.22	177.31	177.44	0.72	0.77	0.91
		10	25	3.43	177.18	177.36	177.42	177.51	0.75	0.79	0.92
		11	26	4.00	177.39	177.53	177.51	177.61	0.78	0.80	0.93
		12	27	4.82	177.52	177.65	177.65	177.66	0.80	0.82	0.91
		13	28	6.89	177.59	177.76	177.77	177.76	0.82	0.84	0.90
		14	29	6.55	177.70	177.87	177.90	177.86	0.85	0.87	0.92
		15	30	6.39	177.83	178.00	178.03	178.02	0.87	0.90	0.99
		16	31	1.36	178.02	178.10	178.16	178.17	0.89	0.93	1.05
		17	32	1.10	178.24	178.23	178.17	178.31	0.91	0.92	1.09
		18	33	1.27	178.29	178.24	178.23	178.23	0.92	0.92	1.00
		19	34	2.16	178.35	178.28	178.18	178.21	0.92	0.90	0.94
		20	35	2.43	178.28	178.21	178.20	178.09	0.91	0.91	0.90
		21	36	3.00	178.21	178.15	178.13	178.10	0.90	0.90	0.90
		22	37	1.36	178.13	178.05	178.08	178.04	0.88	0.89	0.90
		23	38	2.70	177.99	177.92	177.96	178.00	0.86	0.87	0.90
		24	39	1.95	177.87	177.79	177.84	177.87	0.83	0.85	0.87
9	12	1	40	1.00	177.78	177.68	177.70	177.76	0.81	0.82	0.86
		2	41	1.16	177.65	177.55	177.59	177.62	0.79	0.80	0.82
		3	42	0.65	177.60	177.48	177.44	177.50	0.77	0.77	0.80
		4	43	0.36	177.51	177.38	177.36	177.34	0.75	0.75	0.76
		5	44	1.10	177.39	177.27	177.25	177.24	0.73	0.73	0.74
		6	45	0.65	177.33	177.20	177.15	177.13	0.72	0.71	0.72
		7	46	1.19	177.27	177.15	177.08	177.03	0.71	0.70	0.70
		8	47	1.55	177.19	177.08	177.04	176.97	0.70	0.69	0.68
		9	48	0.95	177.12	177.02	176.99	176.94	0.68	0.68	0.68
		10	49	1.16	177.04	176.94	176.92	176.90	0.67	0.67	0.67
		11	50	1.36	177.00	176.91	176.86	176.84	0.66	0.66	0.66
		12	51	0.68	176.98	176.88	176.82	176.78	0.66	0.65	0.65
		13	52	1.00	176.94	176.85	176.80	176.75	0.65	0.64	0.64
		14	53	0.71	176.92	176.82	176.77	176.72	0.64	0.64	0.64
		15	54	0.65	176.86	176.77	176.74	176.69	0.63	0.63	0.63
		16	55	0.16	176.77	176.68	176.68	176.66	0.62	0.62	0.62

表－6(2)　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測水位
（単一流域解析：1～3 時間先予測 ･･･ 過去 3 時間移動平均雨量法）
［湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間］

単位:(T.P.m)

月	日	時	*No.*	実測雨量	実測水位	1時間先 予測水位	2時間先 予測水位	3時間先 予測水位	1時間先90% 信頼区間	2時間先90% 信頼区間	3時間先90% 信頼区間
9	12	17	56	0.00	176.74	176.63	176.59	176.60	0.61	0.60	0.61
		18	57	0.71	176.65	176.55	176.53	176.50	0.59	0.59	0.59
		19	58	0.00	176.67	176.56	176.46	176.44	0.59	0.58	0.58
		20	59	0.20	176.64	176.53	176.46	176.37	0.59	0.58	0.56
		21	60	0.00	176.60	176.49	176.44	176.37	0.58	0.57	0.56
		22	61	0.10	176.52	176.42	176.39	176.34	0.57	0.56	0.56
		23	62	0.07	176.56	176.44	176.32	176.29	0.57	0.55	0.55
		24	63	0.00	176.41	176.32	176.34	176.22	0.55	0.55	0.54
9	13	1	64	0.00	176.36	176.26	176.22	176.25	0.54	0.53	0.54
		2	65	0.00	176.35	176.24	176.16	176.12	0.53	0.52	0.52
		3	66	0.00	176.27	176.17	176.14	176.07	0.52	0.52	0.51
		4	67	0.00	176.21	176.11	176.08	176.05	0.51	0.51	0.50
		5	68	0.00	176.24	176.13	176.02	175.99	0.51	0.49	0.49
		6	69	0.00	176.17	176.07	176.04	175.93	0.50	0.50	0.48
		7	70	0.00	176.19	176.09	175.99	175.95	0.50	0.49	0.48
		8	71	0.00	176.21	176.11	176.00	175.90	0.51	0.49	0.47
		9	72	0.00	176.15	176.06	176.02	175.91	0.50	0.49	0.48
		10	73	0.00	176.17	176.07	175.97	175.94	0.50	0.48	0.48
		11	74	0.00	176.15	176.05	175.99	175.89	0.50	0.49	0.47
		12	75	0.00	176.12	176.03	175.97	175.90	0.49	0.48	0.47
		13	76	0.00	176.11	176.02	175.94	175.89	0.49	0.48	0.47
		14	77	0.00	176.04	175.96	175.93	175.86	0.48	0.48	0.47
		15	78	0.00	176.03	175.94	175.88	175.86	0.47	0.47	0.46
		16	79	0.00	175.99	175.90	175.86	175.80	0.47	0.46	0.45
		17	80	0.00	175.93	175.85	175.83	175.78	0.46	0.46	0.45
		18	81	0.00	175.92	175.83	175.77	175.75	0.45	0.45	0.44
		19	82	0.00	175.94	175.85	175.76	175.70	0.46	0.44	0.43
		20	83	0.00	175.88	175.80	175.78	175.69	0.45	0.44	0.43
		21	84	0.00	175.83	175.75	175.73	175.71	0.44	0.44	0.43
		22	85	0.00	175.87	175.78	175.68	175.66	0.44	0.43	0.43
		23	86	0.00	175.84	175.76	175.72	175.62	0.44	0.43	0.42
		24	87	0.00	175.79	175.72	175.69	175.65	0.43	0.43	0.42
9	14	1	88	0.00	175.85	175.77	175.65	175.63	0.44	0.42	0.42
		2	89	0.00	175.77	175.70	175.70	175.59	0.43	0.43	0.41
		3	90	0.00	175.76	175.69	175.64	175.63	0.43	0.42	0.42
		4	91	0.00	175.77	175.69	175.62	175.57	0.43	0.42	0.41
		5	92	0.00	175.70	175.64	175.63	175.56	0.42	0.42	0.41
		6	93	0.00	175.66	175.59	175.57	175.57	0.41	0.41	0.41
		7	94	0.00	175.67	175.60	175.53	175.51	0.41	0.40	0.40
		8	95	0.00	175.63	175.57	175.54	175.47	0.40	0.40	0.39
		9	96	0.00	175.62	175.55	175.51	175.48	0.40	0.39	0.39
		10	97	0.00	175.58	175.52	175.50	175.45	0.39	0.39	0.38
		11	98	0.00	175.50	175.45	175.46	175.44	0.38	0.38	0.38
		12	99	0.00	175.54	175.47	175.39	175.41	0.38	0.37	0.38
		13	100	0.00	175.50	175.44	175.42	175.34	0.38	0.37	0.36
		14	101	0.00	175.47	175.41	175.39	175.37	0.37	0.37	0.37
		15	102	0.00	175.44	175.38	175.36	175.34	0.37	0.36	0.36
		16	103	0.00	175.42	175.36	175.33	175.31	0.36	0.36	0.36
		17	104	0.00	175.42	175.36	175.31	175.28	0.36	0.36	0.35
		18	105	0.00	175.41	175.35	175.31	175.27	0.36	0.35	0.35
		19	106	0.00	175.38	175.33	175.31	175.27	0.36	0.35	0.35
		20	107	0.00	175.37	175.32	175.28	175.26	0.35	0.35	0.35
		21	108	0.00	175.35	175.30	175.27	175.23	0.35	0.35	0.34
		22	109	0.00	175.33	175.28	175.25	175.22	0.35	0.34	0.34
		23	110	0.00	175.30	175.25	175.23	175.21	0.34	0.34	0.34



図－5　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる流出率とモデル定数のオンライン同定　　（単一流域解析　　過去 3 時間移動平均雨量法）
［湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間］

表－7　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる流出率とモデル定数の時間変化　　（単一流域解析　　過去 3 時間移動平均雨量法）
［湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間］

月	日	時	No.	流出率 f	モデル定数 f_c	月	日	時	No.	流出率 f	モデル定数 f_c	月	日	時	No.	流出率 f	モデル定数 f_c
9	10	10	1	0.641	1.779	9	11	23	38	0.640	1.776	9	13	12	75	0.644	1.797
		11	2	0.641	1.779			24	39	0.640	1.775			13	76	0.644	1.798
		12	3	0.641	1.779	9	12	1	40	0.640	1.775			14	77	0.644	1.798
		13	4	0.641	1.779			2	41	0.640	1.775			15	78	0.644	1.799
		14	5	0.641	1.779			3	42	0.640	1.776			16	79	0.644	1.799
		15	6	0.641	1.779			4	43	0.640	1.776			17	80	0.644	1.800
		16	7	0.641	1.779			5	44	0.640	1.776			18	81	0.644	1.800
		17	8	0.640	1.781			6	45	0.641	1.777			19	82	0.644	1.802
		18	9	0.638	1.795			7	46	0.641	1.777			20	83	0.644	1.802
		19	10	0.633	1.816			8	47	0.641	1.778			21	84	0.644	1.802
		20	11	0.629	1.838			9	48	0.641	1.778			22	85	0.644	1.803
		21	12	0.627	1.844			10	49	0.641	1.778			23	86	0.644	1.804
		22	13	0.623	1.860			11	50	0.641	1.779			24	87	0.644	1.804
		23	14	0.640	1.790			12	51	0.641	1.779	9	14	1	88	0.645	1.806
		24	15	0.641	1.785			13	52	0.642	1.780			2	89	0.645	1.806
9	11	1	16	0.644	1.774			14	53	0.642	1.780			3	90	0.645	1.807
		2	17	0.647	1.766			15	54	0.642	1.781			4	91	0.645	1.807
		3	18	0.648	1.761			16	55	0.642	1.781			5	92	0.645	1.808
		4	19	0.647	1.763			17	56	0.642	1.781			6	93	0.645	1.808
		5	20	0.646	1.766			18	57	0.642	1.781			7	94	0.645	1.809
		6	21	0.644	1.769			19	58	0.642	1.783			8	95	0.645	1.809
		7	22	0.642	1.771			20	59	0.642	1.783			9	96	0.645	1.810
		8	23	0.641	1.773			21	60	0.643	1.784			10	97	0.645	1.810
		9	24	0.640	1.774			22	61	0.643	1.785			11	98	0.645	1.810
		10	25	0.640	1.774			23	62	0.643	1.786			12	99	0.645	1.811
		11	26	0.640	1.774			24	63	0.643	1.786			13	100	0.645	1.811
		12	27	0.640	1.774	9	13	1	64	0.643	1.786			14	101	0.645	1.812
		13	28	0.640	1.774			2	65	0.643	1.788			15	102	0.645	1.812
		14	29	0.639	1.774			3	66	0.643	1.788			16	103	0.645	1.812
		15	30	0.639	1.775			4	67	0.643	1.788			17	104	0.645	1.813
		16	31	0.639	1.775			5	68	0.643	1.790			18	105	0.645	1.813
		17	32	0.640	1.775			6	69	0.643	1.790			19	106	0.645	1.814
		18	33	0.640	1.776			7	70	0.643	1.792			20	107	0.645	1.814
		19	34	0.641	1.776			8	71	0.644	1.793			21	108	0.645	1.815
		20	35	0.641	1.776			9	72	0.644	1.794			22	109	0.645	1.815
		21	36	0.641	1.776			10	73	0.644	1.795			23	110	0.645	1.815
		22	37	0.641	1.776			11	74	0.644	1.796						

第 18 回　流出解析ゼミ

― 複合流域におけるカルマン・フィルター理論を用いた実時間流出予測 ―

[問題]

「第 17 回ゼミ」と同様に、湧別川・丸瀬布における平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 20 時～14 日 23 時の 110 時間(**「第 3 回ゼミ」**を参照)洪水について、複合流域モデルとカルマン・フィルター理論を用いて 1～3 時間先の流量と水位の予測計算を行い、90%信頼区間とともに図示せよ。また、流出率 f とモデル定数 f_c の 1 時間毎の更新値を求めよ。計算時間分割数 $nl=10$ とし、その他の計算条件は**表－3** に示す。

表－3　計算条件

初期値	流域の状態変量	$x_1=q_0^{p_2}$	$q_0^{p_2}$:初期流出高
		$x_2=0$	
	河道の状態変量	$y_1=q_0^{p_{4,j}}$	$q_0^{p_{4,j}}$: j 河道の基底流量
		$y_2=0$	
	モデル定数の状態変量	$f=0.6404$	**「第 3 回ゼミ」**と同じ
		$f_c=2.541$	**「第 14 回ゼミ」**の最適値
誤差分散	システム誤差定数	$\alpha_1=0.1$	$Q=(\alpha_1 X_1)^2$
	観測誤差定数	$\alpha_2=0.1$	$R=(\alpha_2 h(X))^2$
	モデル定数誤差定数	$\alpha_2=0.1$	$U=(\alpha_3 X_3)^2$
	予測雨量の誤差	$a=1.135$, $b=0.88$	$s^2=a^2\ell r^{2b}$ $r<0.1$ のとき、$r=0.1$ とする
予測雨量	過去 3 時間移動平均雨量法(流域毎)		
水位～流量曲線	$Q=26.11(H-173.41)^2$ 適用範囲　$173.42\le H<174.76$ $Q=27.23(H-173.48)^2$ 適用範囲　$174.76\le H<178.35$		**「第 3 回ゼミ」**を参照
平均有効雨量強度	$\overline{r_e}=3.0$ mm/h		
河道の上流端流入量	$\overline{q_0}$ の比流量値として $0.5\mathrm{m^3/s/km^2}$		

[解答]

湧別川・丸瀬布における複合流域解析による、1～3 時間先の洪水流量予測結果を**図－5** 及び**表－4** に、水位予測結果を**図－6** 及び**表－5** に示す。また、流出率 f とモデル定数 f_c の変化を**図－7** 及び**表－6** に示す。予測流量及び予測水位とも、複合流域解析の場合においても、1 時間先予測の精度が 3 時間先に比べ良いことは、**図－5** 及び**図－6** から自明である。

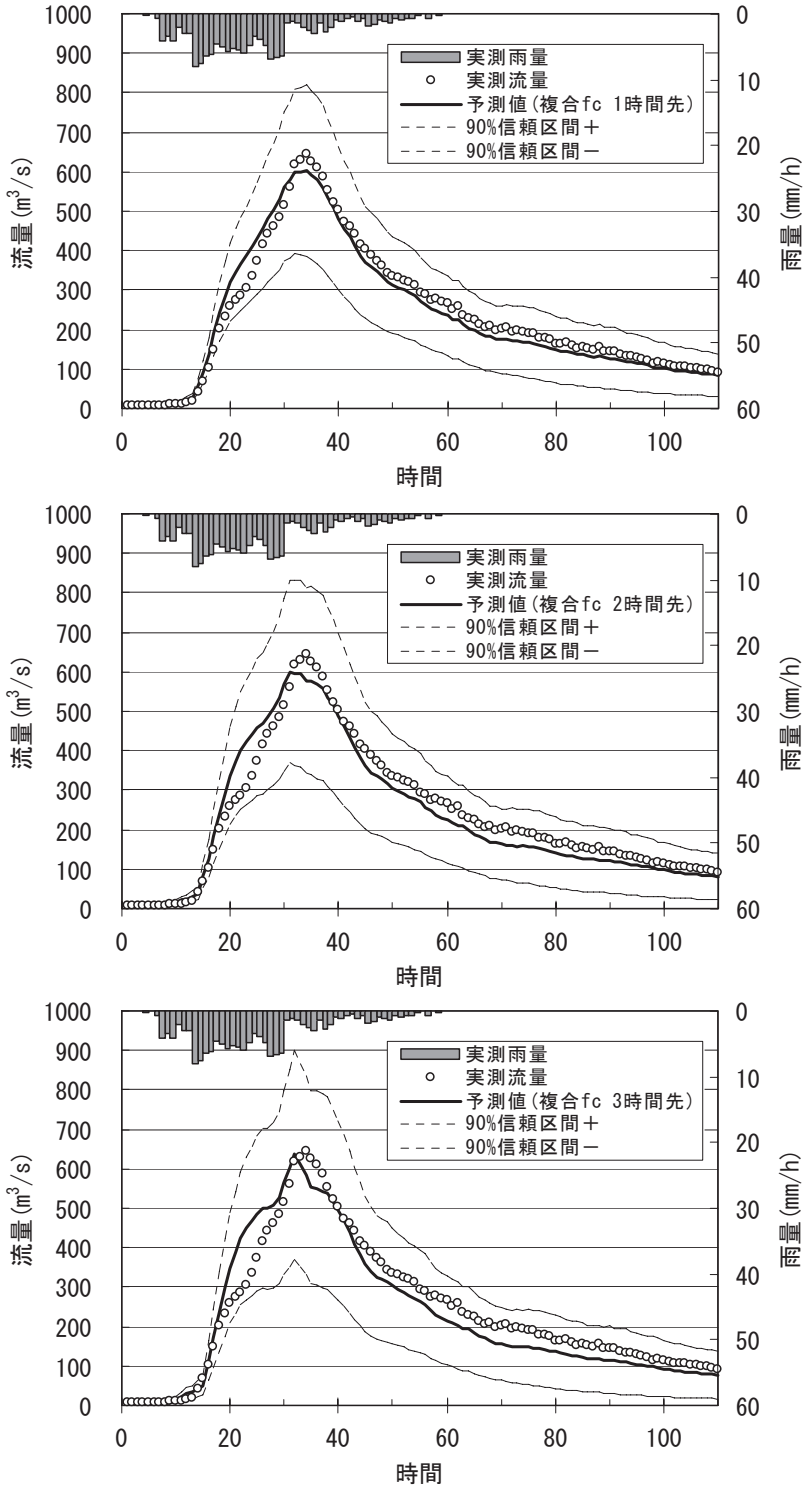
また、**図－7** に示す流出率 f とモデル定数 f_c の変化についても、単一流域解析と同様に、時間ごとに入手される実測流量の急激な変化に合うように、カルマン・フィルター理論によって流出率 f とモデル定数 f_c の最適化されていることが確認できる。

湧別川・丸瀬布地点における複合流域洪水予測解析の精度は、**「第 17 回ゼミ」**で示した単一流域解析

の場合と同程度である。したがって、丸瀬布地点における予測計算の簡便法としては、単一流域解析で良いといえる。

ただし、河道の貯留効果を無視できない支川がある場合等は、複合流域解析が必要である。

文責　星　　清
宮武　真由子



図－5　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測流量
(上から 1 時間先、2 時間先、3 時間先予測結果)
(複合流域解析　　過去 3 時間移動平均雨量法)
[湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

表－4(1)　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測流量
（複合流域解析：1～3 時間先予測 ･･･ 過去 3 時間移動平均雨量法）
［湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間］

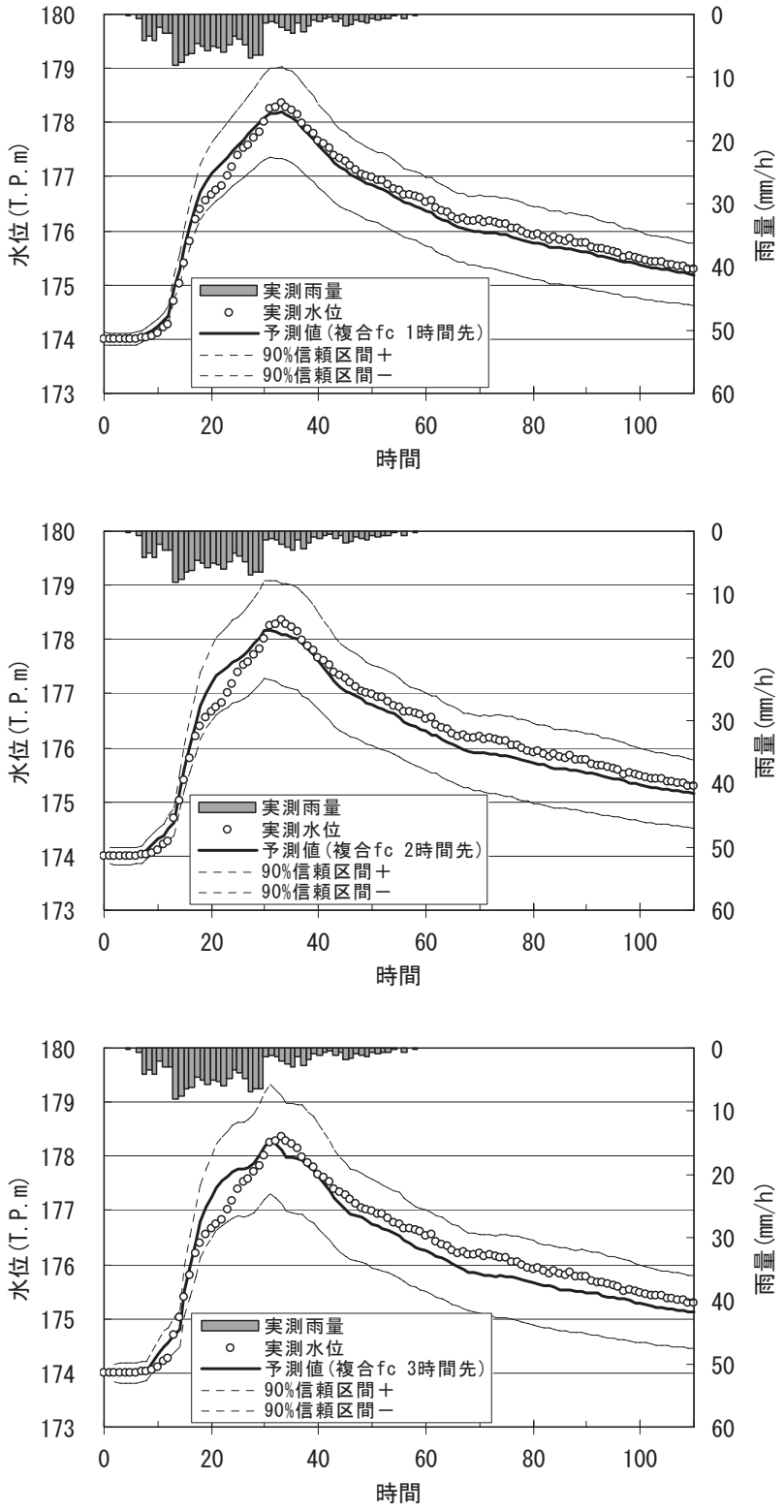
単位:(m^3/s)

月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流量	1時間先 予測流量	2時間先 予測流量	3時間先 予測流量	1時間先90% 信頼区間	2時間先90% 信頼区間	3時間先90% 信頼区間
9	10	10	1	0.00	9.09						
		11	2	0.00	9.09	9.07			3.36		
		12	3	0.00	9.09	9.05	9.03		3.47	4.75	
		13	4	0.10	8.78	8.82	9.00	8.98	3.37	4.91	5.69
		14	5	0.34	8.78	8.91	8.84	8.93	3.36	4.80	5.83
		15	6	0.00	9.09	9.19	9.07	8.85	3.46	4.84	5.75
		16	7	0.66	9.09	9.39	9.31	9.26	3.45	4.93	5.89
		17	8	4.07	9.40	10.86	9.76	9.44	3.71	4.98	5.93
		18	9	3.45	9.72	12.56	13.05	10.21	4.08	6.02	6.09
		19	10	4.04	10.70	14.98	16.72	16.07	4.74	7.38	8.55
		20	11	2.13	12.43	17.70	21.22	22.55	5.52	9.21	11.81
		21	12	3.05	16.30	22.99	24.62	30.26	7.15	10.48	15.98
		22	13	3.09	18.86	27.71	31.71	33.94	8.68	13.42	17.34
		23	14	8.10	43.45	61.89	38.35	43.12	18.97	16.13	21.43
		24	15	7.51	66.84	92.90	85.16	51.31	28.35	32.72	24.70
9	11	1	16	6.38	102.36	137.29	127.69	113.65	41.89	49.12	49.59
		2	17	6.20	149.14	189.84	182.42	169.88	57.72	68.59	74.01
		3	18	4.50	203.24	245.11	240.70	237.51	74.96	88.52	101.03
		4	19	5.09	233.43	285.29	294.87	299.71	88.14	107.28	122.68
		5	20	5.77	259.08	321.19	337.18	348.60	100.45	123.07	139.11
		6	21	5.18	275.79	347.48	375.11	388.14	110.31	137.85	154.23
		7	22	5.39	287.80	367.80	401.90	424.11	117.91	149.30	169.00
		8	23	5.90	305.59	387.69	422.38	449.30	125.17	157.67	180.79
		9	24	4.86	337.39	411.01	441.56	468.10	133.59	165.48	188.91
		10	25	3.44	372.78	432.34	459.32	486.03	141.70	172.94	196.73
		11	26	4.00	416.30	458.20	469.58	499.23	151.45	178.18	202.92
		12	27	4.82	444.44	481.33	485.71	499.05	160.01	185.73	204.30
		13	28	6.89	459.97	503.45	506.44	506.90	168.39	194.10	209.04
		14	29	6.55	484.92	530.73	535.96	525.86	178.43	206.01	217.07
		15	30	6.39	515.26	561.52	567.43	564.24	189.37	218.47	233.76
		16	31	1.37	561.25	581.46	599.85	601.26	198.53	230.90	249.70
		17	32	1.10	616.97	601.11	597.05	636.18	208.26	233.40	264.26
		18	33	1.27	630.00	600.15	593.84	609.94	212.06	236.55	257.14
		19	34	2.16	645.81	603.10	577.85	585.61	216.09	235.89	252.02
		20	35	2.44	627.38	591.71	576.58	553.56	214.99	238.33	245.23
		21	36	3.00	609.21	579.03	567.11	550.93	212.53	236.96	246.91
		22	37	1.37	588.78	559.07	558.20	543.75	207.48	234.80	245.84
		23	38	2.70	553.86	533.79	535.43	539.27	199.73	227.81	244.82
		24	39	1.95	524.78	508.31	513.59	513.62	191.01	219.90	236.12
9	12	1	40	1.00	503.48	482.82	488.36	494.53	182.32	209.91	228.47
		2	41	1.16	473.50	454.23	460.89	468.60	172.27	199.53	217.34
		3	42	0.66	462.21	433.24	431.57	440.09	164.77	187.88	205.89
		4	43	0.37	442.24	410.39	407.49	409.45	157.08	178.54	192.81
		5	44	1.10	416.30	387.07	383.44	383.11	149.00	169.44	182.09
		6	45	0.66	403.62	370.15	362.09	358.51	143.04	160.88	172.17
		7	46	1.91	391.13	358.44	345.28	339.09	139.13	154.15	163.68
		8	47	1.55	374.80	346.49	337.34	323.06	134.92	150.90	156.79
		9	48	0.95	360.79	334.60	328.25	319.63	130.76	146.65	155.07
		10	49	1.16	345.10	321.91	317.65	313.13	126.15	142.22	151.24
		11	50	1.37	337.39	313.57	305.89	303.71	123.01	137.11	146.96
		12	51	0.68	333.57	307.08	298.40	292.21	120.81	133.92	141.41
		13	52	1.00	325.99	299.77	291.15	285.44	118.67	131.10	138.44
		14	53	0.71	322.23	293.90	284.09	277.66	117.28	128.73	135.24
		15	54	0.66	311.09	285.49	277.44	270.87	114.93	126.90	132.87
		16	55	0.16	294.77	272.76	269.58	263.36	110.70	124.21	130.68

表－4(2)　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測流量
（複合流域解析：1～3 時間先予測 ･･･ 過去 3 時間移動平均雨量法）
［湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間］

単位:(m^3/s)

月	日	時	*No.*	実測雨量	実測流量	1時間先 予測流量	2時間先 予測流量	3時間先 予測流量	1時間先90% 信頼区間	2時間先90% 信頼区間	3時間先90% 信頼区間
9	12	17	56	0.00	289.53	263.52	256.70	255.83	107.65	119.20	127.86
		18	57	0.71	274.09	251.93	246.25	242.25	103.82	115.46	122.11
		19	58	0.00	277.49	247.79	236.04	230.75	102.86	111.55	117.76
		20	59	0.20	272.40	242.29	230.54	221.71	102.11	110.15	114.04
		21	60	0.00	265.70	235.60	225.20	215.51	100.98	109.21	112.39
		22	61	0.10	252.54	226.23	218.09	210.60	98.49	107.57	111.55
		23	62	0.07	259.08	225.41	209.78	202.91	99.32	104.78	109.47
		24	63	0.00	234.99	212.39	208.14	195.41	95.59	105.33	106.58
9	13	1	64	0.00	227.22	203.69	196.86	193.45	92.58	101.26	106.95
		2	65	0.00	225.68	198.98	188.63	183.15	91.42	98.07	102.75
		3	66	0.00	213.57	190.67	183.88	175.37	88.94	96.74	99.52
		4	67	0.00	204.70	183.00	176.42	170.77	86.32	94.04	98.16
		5	68	0.00	209.11	181.82	169.42	163.92	86.63	91.27	95.40
		6	69	0.00	198.90	175.74	167.88	157.50	85.28	91.52	92.62
		7	70	0.00	201.79	174.77	162.58	155.99	85.93	90.01	92.91
		8	71	0.00	204.70	175.22	161.43	151.17	87.75	90.62	91.35
		9	72	0.00	196.02	171.10	161.74	150.11	87.58	92.40	92.01
		10	73	0.10	198.90	171.24	158.30	150.39	88.88	92.10	93.82
		11	74	0.00	196.02	169.59	158.51	147.31	89.64	93.40	93.46
		12	75	0.00	191.75	167.00	157.12	147.73	89.72	94.09	94.80
		13	76	0.00	190.34	165.27	154.86	146.46	90.03	94.08	95.46
		14	77	0.00	180.60	160.02	153.21	144.39	88.44	94.33	95.42
		15	78	0.00	179.23	157.31	148.62	142.76	87.64	92.61	95.65
		16	79	0.00	173.80	153.44	146.04	138.55	86.33	91.76	93.85
		17	80	0.00	165.81	148.10	142.55	136.17	84.05	90.38	93.01
		18	81	0.00	164.50	145.21	137.75	132.95	82.77	87.99	91.60
		19	82	0.00	167.13	144.95	134.98	128.53	83.08	86.68	89.17
		20	83	0.00	159.29	140.98	134.59	125.99	81.76	87.03	87.89
		21	84	0.00	152.91	136.51	131.14	125.63	79.73	85.62	88.29
		22	85	0.00	158.01	136.95	127.09	122.45	80.15	83.51	86.83
		23	86	0.00	154.18	134.96	127.25	118.74	79.80	83.99	84.69
		24	87	0.00	147.90	131.35	125.56	118.91	78.36	83.61	85.26
9	14	1	88	0.00	155.45	133.39	122.36	117.35	79.70	82.10	84.87
		2	89	0.00	145.42	129.25	123.95	114.41	78.32	83.54	83.32
		3	90	0.00	144.19	127.25	120.49	115.91	77.40	82.05	84.87
		4	91	0.00	145.42	126.78	118.56	112.70	77.44	81.12	83.29
		5	92	0.00	136.92	122.57	118.06	110.93	75.59	81.17	82.37
		6	93	0.00	132.18	118.75	114.40	110.49	73.46	79.23	82.46
		7	94	0.00	133.36	117.57	110.87	107.10	72.71	77.04	80.44
		8	95	0.00	128.68	114.66	109.64	103.84	71.31	76.30	78.23
		9	96	0.00	127.52	112.95	107.07	102.74	70.37	74.86	77.55
		10	97	0.00	122.95	109.97	105.44	100.36	68.85	73.92	76.08
		11	98	0.00	114.05	104.63	102.78	98.87	65.85	72.36	75.17
		12	99	0.00	118.46	104.50	98.01	96.41	65.34	69.25	73.58
		13	100	0.00	114.05	101.93	97.58	91.98	64.10	68.79	70.39
		14	101	0.00	110.80	99.47	95.39	91.65	62.70	67.53	70.04
		15	102	0.00	107.60	96.88	93.12	89.62	61.19	66.10	68.76
		16	103	0.00	105.49	94.75	90.75	87.53	59.90	64.56	67.33
		17	104	0.00	105.49	93.78	88.77	85.35	59.28	63.25	65.78
		18	105	0.00	104.44	92.76	87.81	83.54	58.81	62.65	64.48
		19	106	0.00	101.33	90.86	86.90	82.68	57.86	62.18	63.91
		20	107	0.00	100.30	89.63	85.23	81.85	57.16	61.22	63.46
		21	108	0.00	98.27	88.07	84.05	80.30	56.34	60.51	62.48
		22	109	0.00	96.25	86.47	82.65	79.24	55.45	59.68	61.79
		23	110	0.00	93.27	84.36	81.19	77.95	54.25	58.77	60.95



図－6　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測水位
(上から 1 時間先、2 時間先、3 時間先予測結果)
(複合流域解析　　過去 3 時間移動平均雨量法)
[湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

表－5(1)　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測水位
（複合流域解析：1～3 時間先予測 ･･･ 過去 3 時間移動平均雨量法）
［湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間］

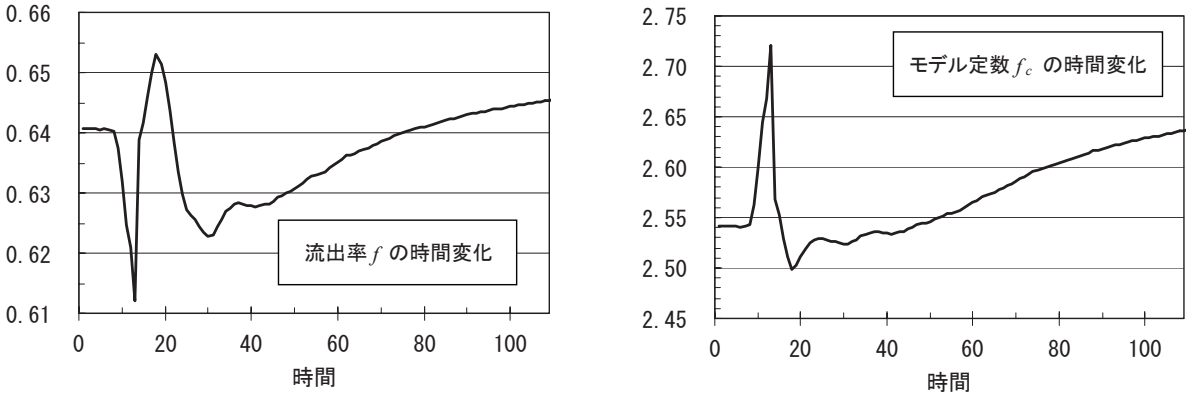
単位:(T.P.m)

月	日	時	No.	実測雨量	実測水位	1時間先予測水位	2時間先予測水位	3時間先予測水位	1時間先90%信頼区間	2時間先90%信頼区間	3時間先90%信頼区間
9	10	10	1	0.00	174.00						
		11	2	0.00	174.00	174.00			0.11		
		12	3	0.00	174.00	174.00	174.00		0.11	0.16	
		13	4	0.10	173.99	173.99	174.00	174.00	0.11	0.16	0.19
		14	5	0.34	173.99	173.99	173.99	174.00	0.11	0.16	0.19
		15	6	0.00	174.00	174.00	174.00	173.99	0.11	0.16	0.19
		16	7	0.66	174.00	174.01	174.01	174.01	0.11	0.16	0.19
		17	8	4.07	174.01	174.06	174.02	174.01	0.11	0.16	0.19
		18	9	3.45	174.02	174.10	174.12	174.04	0.11	0.16	0.19
		19	10	4.04	174.05	174.17	174.21	174.19	0.12	0.18	0.21
		20	11	2.13	174.10	174.23	174.31	174.34	0.13	0.20	0.24
		21	12	3.05	174.20	174.35	174.38	174.49	0.15	0.21	0.28
		22	13	3.09	174.26	174.44	174.51	174.55	0.16	0.23	0.29
		23	14	8.10	174.70	174.95	174.62	174.70	0.24	0.26	0.32
		24	15	7.51	175.01	175.30	175.22	174.81	0.29	0.35	0.34
9	11	1	16	6.38	175.39	175.70	175.62	175.50	0.35	0.43	0.46
		2	17	6.20	175.80	176.11	176.05	175.96	0.41	0.50	0.56
		3	18	4.50	176.20	176.47	176.45	176.43	0.47	0.56	0.64
		4	19	5.09	176.40	176.72	176.77	176.80	0.51	0.61	0.68
		5	20	5.77	176.56	176.91	177.00	177.06	0.54	0.64	0.71
		6	21	5.18	176.66	177.05	177.19	177.26	0.57	0.68	0.75
		7	22	5.39	176.73	177.16	177.32	177.43	0.59	0.71	0.79
		8	23	5.90	176.83	177.25	177.42	177.54	0.61	0.74	0.82
		9	24	4.86	177.00	177.37	177.51	177.63	0.63	0.76	0.84
		10	25	3.44	177.18	177.47	177.59	177.71	0.65	0.77	0.86
		11	26	4.00	177.39	177.58	177.63	177.76	0.68	0.79	0.87
		12	27	4.82	177.52	177.68	177.70	177.76	0.70	0.81	0.88
		13	28	6.89	177.59	177.78	177.79	177.80	0.72	0.83	0.89
		14	29	6.55	177.70	177.90	177.92	177.88	0.74	0.85	0.91
		15	30	6.39	177.83	178.02	178.05	178.03	0.77	0.88	0.94
		16	31	1.37	178.02	178.10	178.17	178.18	0.79	0.90	0.98
		17	32	1.10	178.24	178.18	178.16	178.31	0.81	0.92	1.00
		18	33	1.27	178.29	178.18	178.15	178.21	0.83	0.93	1.00
		19	34	2.16	178.35	178.19	178.09	178.12	0.84	0.94	1.00
		20	35	2.44	178.28	178.14	178.08	177.99	0.85	0.95	1.00
		21	36	3.00	178.21	178.09	178.04	177.98	0.85	0.95	1.01
		22	37	1.37	178.13	178.01	178.01	177.95	0.84	0.95	1.01
		23	38	2.70	177.99	177.91	177.91	177.93	0.83	0.94	1.01
		24	39	1.95	177.87	177.80	177.82	177.82	0.81	0.93	1.00
9	12	1	40	1.00	177.78	177.69	177.72	177.74	0.80	0.91	0.98
		2	41	1.16	177.65	177.56	177.59	177.63	0.77	0.89	0.96
		3	42	0.66	177.60	177.47	177.46	177.50	0.76	0.87	0.94
		4	43	0.37	177.51	177.36	177.35	177.36	0.74	0.85	0.91
		5	44	1.10	177.39	177.25	177.23	177.23	0.73	0.83	0.89
		6	45	0.66	177.33	177.17	177.13	177.11	0.71	0.81	0.87
		7	46	1.91	177.27	177.11	177.04	177.01	0.70	0.80	0.85
		8	47	1.55	177.19	177.05	177.00	176.92	0.70	0.79	0.84
		9	48	0.95	177.12	176.99	176.95	176.91	0.69	0.78	0.83
		10	49	1.16	177.04	176.92	176.90	176.87	0.67	0.77	0.82
		11	50	1.37	177.00	176.87	176.83	176.82	0.67	0.75	0.81
		12	51	0.68	176.98	176.84	176.79	176.76	0.66	0.74	0.81
		13	52	1.00	176.94	176.80	176.75	176.72	0.66	0.75	0.80
		14	53	0.71	176.92	176.77	176.71	176.67	0.67	0.75	0.79
		15	54	0.66	176.86	176.72	176.67	176.63	0.67	0.75	0.79
		16	55	0.16	176.77	176.64	176.62	176.59	0.66	0.74	0.79

表－5(2)　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる予測水位
（複合流域解析：1～3 時間先予測 ･･･ 過去 3 時間移動平均雨量法）
［湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間］

単位:(T.P.m)

月	日	時	*No.*	実測雨量	実測水位	1時間先 予測水位	2時間先 予測水位	3時間先 予測水位	1時間先90% 信頼区間	2時間先90% 信頼区間	3時間先90% 信頼区間
9	12	17	56	0.00	176.74	176.59	176.55	176.54	0.65	0.73	0.78
		18	57	0.71	176.65	176.52	176.48	176.46	0.64	0.72	0.77
		19	58	0.00	176.67	176.49	176.42	176.38	0.64	0.71	0.76
		20	59	0.20	176.64	176.46	176.38	176.32	0.64	0.71	0.75
		21	60	0.00	176.60	176.41	176.35	176.28	0.64	0.71	0.75
		22	61	0.10	176.52	176.35	176.30	176.25	0.64	0.71	0.75
		23	62	0.07	176.56	176.35	176.24	176.20	0.65	0.71	0.75
		24	63	0.00	176.41	176.26	176.23	176.15	0.64	0.71	0.75
9	13	1	64	0.00	176.36	176.20	176.16	176.13	0.64	0.71	0.75
		2	65	0.00	176.35	176.17	176.10	176.06	0.63	0.70	0.74
		3	66	0.00	176.27	176.11	176.06	176.00	0.63	0.70	0.74
		4	67	0.00	176.21	176.06	176.01	175.97	0.62	0.69	0.74
		5	68	0.00	176.24	176.05	175.96	175.92	0.63	0.69	0.73
		6	69	0.00	176.17	176.00	175.95	175.87	0.63	0.69	0.72
		7	70	0.00	176.19	176.00	175.91	175.85	0.64	0.69	0.73
		8	71	0.00	176.21	176.00	175.90	175.82	0.65	0.70	0.73
		9	72	0.00	176.15	175.97	175.90	175.81	0.66	0.71	0.74
		10	73	0.10	176.17	175.97	175.87	175.81	0.67	0.72	0.75
		11	74	0.00	176.15	175.96	175.87	175.79	0.67	0.73	0.75
		12	75	0.00	176.12	175.94	175.86	175.79	0.68	0.73	0.76
		13	76	0.00	176.11	175.93	175.85	175.78	0.69	0.74	0.77
		14	77	0.00	176.04	175.89	175.83	175.76	0.68	0.75	0.78
		15	78	0.00	176.03	175.87	175.80	175.75	0.68	0.74	0.78
		16	79	0.00	175.99	175.83	175.78	175.71	0.68	0.74	0.78
		17	80	0.00	175.93	175.79	175.75	175.69	0.68	0.74	0.78
		18	81	0.00	175.92	175.77	175.71	175.67	0.67	0.73	0.78
		19	82	0.00	175.94	175.77	175.68	175.63	0.68	0.73	0.77
		20	83	0.00	175.88	175.73	175.68	175.61	0.67	0.73	0.77
		21	84	0.00	175.83	175.70	175.65	175.60	0.67	0.73	0.77
		22	85	0.00	175.87	175.70	175.62	175.58	0.67	0.73	0.77
		23	86	0.00	175.84	175.68	175.62	175.54	0.67	0.73	0.76
		24	87	0.00	175.79	175.65	175.60	175.54	0.67	0.73	0.77
9	14	1	88	0.00	175.85	175.67	175.58	175.53	0.68	0.73	0.77
		2	89	0.00	175.77	175.64	175.59	175.50	0.67	0.73	0.76
		3	90	0.00	175.76	175.62	175.56	175.52	0.67	0.73	0.77
		4	91	0.00	175.77	175.61	175.54	175.49	0.67	0.73	0.77
		5	92	0.00	175.70	175.58	175.54	175.47	0.67	0.73	0.77
		6	93	0.00	175.66	175.54	175.50	175.47	0.66	0.73	0.77
		7	94	0.00	175.67	175.53	175.47	175.44	0.66	0.72	0.76
		8	95	0.00	175.63	175.51	175.46	175.40	0.65	0.71	0.75
		9	96	0.00	175.62	175.49	175.44	175.39	0.65	0.71	0.75
		10	97	0.00	175.58	175.46	175.42	175.37	0.64	0.70	0.74
		11	98	0.00	175.50	175.41	175.39	175.36	0.63	0.70	0.74
		12	99	0.00	175.54	175.41	175.35	175.33	0.63	0.68	0.73
		13	100	0.00	175.50	175.39	175.34	175.29	0.62	0.68	0.72
		14	101	0.00	175.47	175.36	175.32	175.28	0.62	0.68	0.72
		15	102	0.00	175.44	175.34	175.30	175.26	0.61	0.67	0.71
		16	103	0.00	175.42	175.32	175.27	175.24	0.60	0.66	0.70
		17	104	0.00	175.42	175.31	175.25	175.22	0.60	0.66	0.70
		18	105	0.00	175.41	175.30	175.24	175.20	0.60	0.65	0.69
		19	106	0.00	175.38	175.28	175.23	175.19	0.59	0.65	0.69
		20	107	0.00	175.37	175.26	175.22	175.18	0.59	0.65	0.69
		21	108	0.00	175.35	175.25	175.20	175.16	0.59	0.65	0.68
		22	109	0.00	175.33	175.23	175.19	175.15	0.58	0.64	0.68
		23	110	0.00	175.30	175.21	175.17	175.14	0.58	0.64	0.68



図－7　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる流出率と
モデル定数のオンライン同定　　(複合流域解析　　過去 3 時間移動平均雨量法)
[湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

表－6　カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数モデルによる流出率と
モデル定数の時間変化　　(複合流域解析　　過去 3 時間移動平均雨量法)
[湧別川・丸瀬布地点　　平成 13 年(2001 年)9 月 10 日 10 時～14 日 23 時　110 時間]

月	日	時	No.	流出率 f	モデル定数 f_c	月	日	時	No.	流出率 f	モデル定数 f_c	月	日	時	No.	流出率 f	モデル定数 f_c
9	10	10	1	0.641	2.541	9	11	23	38	0.628	2.536	9	13	12	75	0.640	2.597
		11	2	0.641	2.541			24	39	0.628	2.535			13	76	0.640	2.599
		12	3	0.641	2.541	9	12	1	40	0.628	2.535			14	77	0.640	2.600
		13	4	0.641	2.541			2	41	0.628	2.534			15	78	0.641	2.602
		14	5	0.641	2.541			3	42	0.628	2.535			16	79	0.641	2.603
		15	6	0.641	2.541			4	43	0.628	2.536			17	80	0.641	2.604
		16	7	0.641	2.541			5	44	0.628	2.536			18	81	0.641	2.606
		17	8	0.640	2.543			6	45	0.629	2.538			19	82	0.641	2.607
		18	9	0.637	2.562			7	46	0.629	2.541			20	83	0.642	2.609
		19	10	0.632	2.599			8	47	0.630	2.542			21	84	0.642	2.610
		20	11	0.625	2.645			9	48	0.630	2.544			22	85	0.642	2.612
		21	12	0.621	2.668			10	49	0.630	2.545			23	86	0.642	2.613
		22	13	0.612	2.720			11	50	0.631	2.546			24	87	0.642	2.614
		23	14	0.639	2.567			12	51	0.631	2.548	9	14	1	88	0.643	2.616
		24	15	0.642	2.552			13	52	0.632	2.550			2	89	0.643	2.617
9	11	1	16	0.646	2.529			14	53	0.632	2.552			3	90	0.643	2.618
		2	17	0.650	2.510			15	54	0.633	2.554			4	91	0.643	2.620
		3	18	0.653	2.498			16	55	0.633	2.554			5	92	0.643	2.621
		4	19	0.651	2.503			17	56	0.633	2.556			6	93	0.643	2.622
		5	20	0.648	2.511			18	57	0.634	2.557			7	94	0.644	2.623
		6	21	0.644	2.519			19	58	0.634	2.560			8	95	0.644	2.624
		7	22	0.638	2.525			20	59	0.635	2.563			9	96	0.644	2.625
		8	23	0.633	2.528			21	60	0.635	2.565			10	97	0.644	2.626
		9	24	0.630	2.529			22	61	0.636	2.567			11	98	0.644	2.626
		10	25	0.627	2.528			23	62	0.636	2.571			12	99	0.644	2.628
		11	26	0.626	2.528			24	63	0.636	2.572			13	100	0.644	2.628
		12	27	0.626	2.527	9	13	1	64	0.637	2.573			14	101	0.644	2.629
		13	28	0.624	2.526			2	65	0.637	2.576			15	102	0.645	2.630
		14	29	0.623	2.525			3	66	0.637	2.577			16	103	0.645	2.631
		15	30	0.623	2.524			4	67	0.637	2.579			17	104	0.645	2.632
		16	31	0.623	2.524			5	68	0.638	2.582			18	105	0.645	2.633
		17	32	0.624	2.526			6	69	0.638	2.583			19	106	0.645	2.634
		18	33	0.625	2.528			7	70	0.639	2.586			20	107	0.645	2.635
		19	34	0.627	2.532			8	71	0.639	2.589			21	108	0.645	2.636
		20	35	0.628	2.534			9	72	0.639	2.591			22	109	0.645	2.636
		21	36	0.628	2.535			10	73	0.639	2.593			23	110	0.646	2.637
		22	37	0.628	2.536			11	74	0.640	2.595						

実践流出解析ゼミ［Q＆A編］

【発　行　日】　平成 18 年 7 月

【発　行　所】　財団法人　北海道河川防災研究センター・研究所

〒060-0807 札幌市北区北 7 条西 4 丁目 伊藤 110 ビル
TEL (011)729-8141　FAX (011)729-3380
http://www.bousai.or.jp

【印　刷　所】　株式会社　アイワード